Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie

Band: 3 (1923)

Heft: 3-4

Artikel: Alpine Minerallagerstätten

Autor: Parker, Robert L.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-5331

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Alpine Minerallagerstätten.

Mit 3 Textfiguren.

Vortrag, gehalten am 12. November 1923 in der Zürcher Geologischen Gesellschaft

von *Robert L. Parker.*

Einleitung.

Unter Minerallagerstätten des alpinen Typus versteht man Mineralvorkommnisse, wie sie aus den Alpen und anderen Deckgebirgen bekannt geworden sind, die an Zerrklüfte tektonisch beanspruchter Gesteine gebunden sind.

Aus Lagerstätten von diesem Typus sind keine technisch wichtigen Mineralien bekannt geworden, hingegen haben sie zahllose Stufen an Sammlungen geliefert, die sich durch eine besondere Schönheit und subtile Eigenart auszeichnen. Auch inmitten der ganzen Mannigfaltigkeit, die in Museen zu finden ist, vermögen alpine Stufen immer wieder die Aufmerksamkeit auf sich zu lenken. Angezogen von dem ganz besonderen Cachet, das den Kluftmineralien anhaftet, haben die Mineralogen diese stets mit besonderer Vorliebe zum Gegenstand ihrer Untersuchungen gewählt; dadurch ist auf diesem Forschungsgebiet eine sehr rege Tätigkeit rein wissenschaftlichen Charakters entstanden. Sie hat die Entstehung einer gewaltigen Literatur gezeitigt, deren erster Vorläufer bis in das Altertum zurückreicht, indem bereits Plinius Beobachtungen über alpine Bergkristalle und Amethyste publizierte.[1]) Moritz Anton Cappeler, der Begründer der modernen Mineralsystematik, benutzte zu seinem berühmten „Prodromus Crystallographiae“ [2]) Material aus solchen Lagerstätten, und es ergibt die Verfolgung der einschlägigen Schriften bis in unsere Tage ein getreues Abbild der Entwicklungsgeschichte der ganzen mineralogischen Wissenschaft.

Nur einige ganz wenige Namen sollen hier noch speziell erwähnt werden, vor allem derjenige David Friderich Wiser's, der neben zahlreichen Publikationen ein dauerndes Denkmal seiner mustergültigen Sammlertätigkeit hinterlassen hat,[3]) das auch heute noch eine unerschöpfliche Quelle der

[1]) Ausführliches Zitat bei Kenngott, „Die Minerale der Schweiz“.

[2]) Neu herausgegeben von K. Mieleitner, München 1923 (siehe auch diese Zeitschr. III, S. 113—153).

Belehrung bleibt. Mit Wiser in engstem Gedankenaustausch stand der damalige Zürcher Dozent Kenngott, der hier besonders zu erwähnen ist als Autor des Werkes „Die Minerale der Schweiz" (Leipzig 1866),[4]) das, wenn auch heute gänzlich überlebt, doch unersetzt geblieben ist und auch jetzt noch wertvolle Auskünfte zu geben vermag. In diesem Buche, leider nicht verarbeitet, ist der größte Teil der Ergebnisse von Wisers bewundernswert scharfer Beobachtungsgabe, welche z. B. aus jeder seiner Mineraletiketten spricht und aus diesen eine wahre Schatzkammer minutiösester Beobachtungstatsachen (besonders auf paragenetischem Gebiete) macht.

Wohl der erste Versuch, die paragenetischen Verhältnisse der Kluftlagerstätten zu bearbeiten, stammt von H. Breithaupt, der in seinem in Freiberg erschienenen Werke „Die Paragenesis der Mineralien" unter der Bezeichnung „Titanformation" eine bedeutende Anzahl von Beobachtungen in durchaus modern zumutender Form niederlegte. Er ist als unmittelbarer Begründer der modernen paragenetischen Richtung zu bezeichnen, die namentlich von P. Groth,[5]) E. Weinschenk,[6]) H. Baumhauer[6a]) und J. Koenigsberger fortgesetzt und entwickelt worden ist. Letzterer Autor hat auf dem Gebiete der Kluftlagerstättenforschung eine Reihe umfassender und maßgebender Arbeiten publiziert,[7]) die zum ersten Male eine Systematik der Erscheinungen geliefert haben und gleichzeitig viel Licht in Fragen geworfen haben, die bis dann unbeachtet geblieben waren. Ein Teil der Sammlung, die er im Laufe seiner Tätig-

---

[3]) Siehe U. Grubenmann, 120. Neujahrsblatt der Zürcher Naturforschenden Gesellschaft 1918.

[4]) Sein Buch ist nicht das erste zusammenfassende Werk über dieses Thema. Frühere sind z. B. G. S. Gruner: Versuch eines Verzeichnis der Mineralien des Schweizerlandes. Bern 1775. C. Bernoulli: Geognostische Übersicht der Schweiz. Basel 1811.

[5]) Siehe u. a. Topographische Übersicht der Minerallagerstätten. Z. f. prakt. Geol., 24 und 25, 1916—17.

[6]) U. a. Ztschr. f. Krist., Bd. 26, 1896. Die Minerallagerstätten des Großvenedigerstockes in den Hohen Tauern.

[6a]) U. a. Ztschr. f. Krist., Bd. 53, 1907.

[7]) Siehe vor allem: Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin des Aarmassivs. N. J. B. XIV B. B., p. 43. Erläuterungen zur geologischen und mineralogischen Karte des östlichen Aarmassivs von Disentis bis zum Spannort. Freiburg i. B. 1910. Über alpine Minerallagerstätten I—III, Abhandlungen der Bayr. Akad. der Wissenschaft, XXVIII. Bd., Abh. 10—12. Die Paragenesis der Kieselsäuremineralien, in Doelters Handbuch der Mineralchemie, Bd. II 1, p. 27.

keit zusammentrug, konnte dank der Unterstützung der Stiftung zur Förderung schweizerischer Volkswirtschaft vom Mineralogischen Institut der E. T. H. erworben werden, so daß das Zürcher Institut jetzt zwei für das Studium der Kluftlagerstätten höchst wichtige Sammlungen besitzt. Von der dort unternommenen neuen Bearbeitung des gesamten auf diese Lagerstätten bezüglichen Materiales ist eine weitere Vertiefung der Kenntnisse zu erhoffen. Sie soll nach einem von Prof. P. Niggli aufgestellten Plan sowohl von kristallographischen, paragenetischen, chemischen, als auch von physikalisch-chemischen Gesichtspunkten aus unternommen werden, und letzten Endes zu einer neuen „Mineralogie der Schweiz" Veranlassung geben.

Da mag es gut sein, zunächst eine ganz kurze Übersicht über die heute herrschenden Ansichten und Theorien auf dem Gebiete der Kluftlagerstättenforschung zu geben, also gewissermaßen über das Fundament zu orientieren, auf dem jede neue Forschung aufzubauen hat.

Allgemeiner Überblick.

Es kann zunächst die Frage aufgeworfen werden, ob denn die Kluftlagerstätten wirklich eine für die alpine Mineralogie so wichtige Rolle spielen, daß ihnen die Bezeichnung „alpine Lagerstätten" kurzweg auch verdientermaßen zukommt. Diese Fragestellung erscheint umso mehr gerechtfertigt, als ja viele Mineralien aus den Alpen bekannt sind, die ganz anderen Lagerstätten entstammen als die der Klüfte. Es wird darum zunächst notwendig sein, auf diese anderen Vorkommnisse kurz einzugehen, um einen Begriff ihrer Bedeutung für die alpine Mineralogie zu erlangen.

Beginnt man mit den als ausgiebigste Mineralliefer anten bekannten pegmatitischen Lagerstätten, so ist zu verzeichnen, daß dieselben auch in der Schweiz eine Anzahl schöner Mineralfunde geliefert haben. So finden sich in den Pegmatiten des Bergellermassivs [8]) Muskowit, Biotit, Granat, Turmalin, Hämatit, Molybdänglanz und blauer Beryll in guten Kristallisationen vor; ähnliches ist von manchen Tessinerpegmatiten zu berichten. Turmaline von besonderer Größe sind auch an Pegmatiten des Unterengadins bekannt geworden.[9]) Im großen und ganzen muß aber gesagt werden,

[8]) R. Staub, Geologische Beobachtungen am Bergeller Massiv. Vierteljahrschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich 63 (1918), p. 3.

[9]) U. Grubenmann. Viertelj. Zürch. naturf. Ges. 1904.

daß die schweizerischen Pegmatite durch eine nicht zu verkennende Eintönigkeit ausgezeichnet sind und in der Mehrzahl aller Fälle auf den gewöhnlichsten Mineralbestand beschränkt bleiben. Prachtvolle Neubildungen (Disthen) sind den Pegmatiten gelegentlich durch Metamorphose gekommen, und erst diese geben ihnen einen Charakter, der etwa „alpin" zu nennen wäre. Die Mineralarmut der schweizer Pegmatite, die sehr auffällig durch den Vergleich mit denjenigen einiger anderer Länder hervortritt, besonders z. B. mit denen Südnorwegens, Madagaskars u. s. w., ist eine mit der Natur der schweizerischen petrographischen Provinz in Zusammenhang stehende Eigenschaft. Diese stellt als Ganzes eine pazifische bis schwach mediterrane Provinz dar, und es besteht als ganz allgemein gültige Tatsache die Erscheinung, daß die pegmatitischen Restlösungen solcher Provinzen wesentlich weniger Mannigfaltigkeit besitzen als die der atlantischen Sippe, zu der beispielsweise die südnorwegischen gehören.

Entschieden mannigfaltiger ist der Gehalt der auf verschiedene Weise entstandenen Erzlagerstätten der Alpen. Unter diesen spielen Eisen- und Manganerze eine ganz besonders wichtige Rolle. Sie sind sehr ausführlich beschrieben in dem jüngst erschienenen Werke „Die Eisen- und Manganerze der Schweiz" (Bern 1923). Unter den hierher gehörigen Vorkommnissen mag vorab der sedimentären gedacht werden, die mancherorts in den Alpen (Dents du Midi z. B.) bekannt sind. Sie ähneln sowohl in der Art ihrer Erze wie auch in ihren Altersverhältnissen den Vorkommnissen von Limonit (Eisenoolith, Bohnerz, Bolus u. dergl.) des Juragebirges, woselbst sie in verschiedenen Horizonten von eocenem bis jurassischem Alter erscheinen. Besonders interessant und von spezieller Wichtigkeit in der Geschichte des schweizerischen Bergbaues sind die im Quintnerkalk (Malm) eingelagerten Eisenerze des Gonzen (Ablagerungen im küstenfernen Tiefmeer des Malms).[10]) Die Mineralführung ist recht mannigfaltig und umfaßt außer den Haupteisenerzen: Roteisenerz, Magnetit noch diverse Manganmineralien wie Hausmannit, Rhodochrosit, Pyrolusit, Psilomelan, „Wiserit", sowie untergeordnet bis selten Pyrit, Calcit, Ton, Quarz, Jaspis, Baryt, Flußspath, Chlorit.

---

[10]) J. Oberholzer, in „Die Eisen und Manganerze der Schweiz", Seite 162.

Die Vergesellschaftung von Eisen- und Manganerzen ist auch von diversen anderen Fundstellen bekannt, an denen es zum mindesten sehr wahrscheinlich ist, daß keine rein sedimentogenen Ablagerungen vorliegen, sondern ursprüngliche Bildungen von wenigstens epimagmatischer Natur. Allgemein ausgedrückt liegen die Verhältnisse so, daß in den triasischen Dolomiten und Sandsteinen die Erze (Eisen- und Manganerze oft in Verbindung mit anderen Sulfiden) als Imprägnationen, Stockwerke oder sogar als Gänge auftreten und zwar so, daß manchmal enge Verknüpfung mit kristallinen Gesteinen nachweisbar ist.[11]) Typische Vorkommnisse sind die von Val Tisch (Hämatit), bei der hydrometasomatische Entstehung im anisischen Dolomit und im Buntsandstein angegeben wird,[12]) und die des Avers (Siderit, Hämatit, Magnetit, Polianit), welche fast alle in der Surettadecke liegen und überaus auffällige Zusammenhänge mit dem „Rofnagneis" (Quarzporphyr) zeigen. Die Entstehung dieser Erze datiert vor der Alpenfaltung.[13])

Erzlagerstätten, die speziell Manganmineralien verschiedener Art liefern, sind im Oberhalbstein ziemlich zahlreich bekannt; sie treten in Vergesellschaftung mit Radiolariten auf. Diese Erze, die „im Prinzip syngenetisch sedimentär" sind, mögen hier unter dem Einfluß der Ophiolithintrusionen Umlagerungen und Anreicherungen erfahren haben.[14])

Einige neu entdeckte Manganmineralien aus dieser Gegend werden in diesem Heft der „Mitteilungen" von J. Jakob beschrieben.

Kleinere Erzlagerstätten, deren Hauptmineralien Kiese sind (Pyrit, Magnetkies, Mißpickel), sind in den Alpen sehr verbreitet. Magnetkies ist namentlich aus dem Tessin (Gegend von Bellinzona-Lugano) bekannt, wo es fahlbandartig erscheint, Mißpickel besonders aus dem Wallis, wo bei Salanfe (Dents du Midi) ein goldführendes Vorkommnis, das als Leucopyrit ($Fe_2(AsS)_3$) näher beschrieben wird, und in Zusammenhang mit Pyroxen, Amphibol, Zoisit, Titanit als Begleitmineralien zu Tage tritt.

---

[11]) C. Schmidt, Texte explicativ de la carte des gisements des matières premieres minérales de la Suisse. Basel 1920, p. 187.

[12]) H. Eugster, in „Die Eisen und Manganerze der Schweiz", p. 208.

[13]) Arn. Heim ebendaselbst, p. 240.

[14]) P. Arbenz und Ch. Tarnuzzer, ebendort, p. 268.

Aus dem Rahmen der übrigen Kiesvorkommen heraus fallen eine Anzahl recht goldhaltiger Kiese, die in einer 150 km langen Zone der Zentralalpen (besonders Monte Rosa-Gebiet und Gondo am Simplon) erscheinen. Sie stehen quer zum allgemeinen Schichtstreichen und zeigen keine Anzeichen von alpiner Metamorphose, weshalb sie als junge Bildungen angesprochen werden. Gänge und Fahlbänder von goldhaltigem Mißpickel und Pyrit mit Antimonit, Bleiglanz und Zinkblende, die ganz ähnliches Verhalten aufweisen, sind westlich von Lugano bekannt.[15])

Von sehr spezieller Natur sind die Magnetitvorkommnisse des Mont Chemin im Wallis. Das Erz erscheint hier in einem unter dem Einflusse pneumatolytischer Kontaktmetamorphose veränderten Kalkgesteins, das zu einem Skarn umgewandelt wurde unter Neubildung von Amphibol, Epidot, Vesuvian, Stilpnomelan, denen der Magnetit beigemengt ist, manchmal so reichlich, daß er 80 % der ganzen Masse ausmacht.

Zu weiteren Erzbildungen übergehend, deren epi-perimagmatische Natur wohl unzweifelhaft ist, möge an erster Stelle der Bleiglanz-Zinkblendegänge gedacht werden, von denen C. Schmidt ca. 30 Fundstellen erwähnt, die sich auf die gesamte Alpenkette verteilen von Graubünden (Val Scarl im Unterengadin, Bleiberg und Silberberg bei Davos etc.) bis ins Wallis und weiter (St. Bernhard und Mont Blanc). Die z. T. silberführenden Erze brechen teils mit quarziger, teils mit barytischer Gangart ein; bei Roterberg (Goppenstein) wird ein Übergang von quarziger Bleiformation in der Tiefe zu Karbon- und schwerspätiger Bleizinkformation in den oberen Teufen angegeben.[16]) Ganz besonderes Interesse beansprucht das Vorkommnis von Les Trappistes (Mont Chemin) im Wallis, wo neben Quarz und Baryt Flußspat in Menge als Gangart auftritt.[17]) Auch vom Alpensüdfuß im permischen Quarzporphyr der Luganergegend sind barytführende Bleiglanz-Zinkblendegänge bekannt.

Kupfererze, die z. T. auf den Blei-Silberlagerstätten einbrechen oder doch eng mit ihnen assoziiert sind, treten auch als selbständige Kupferlagerstätten auf. Die Haupt-

[15]) C. Schmidt, loc. cit., p. 199 ff.
[16]) C. Schmidt, loc. cit., p. 240.
[17]) Leo Wehrli, „Der Flußspat von Sembrancher im Wallis", diese Zeitschr., Bd. I, Heft 1/2, p. 160.

mineralien sind Kupferkies und Kupferfahlerz, von welchen bald das eine, bald das andere vorwiegt, was zur Trennung von zwei nicht ganz scharf unterschiedenen Lagerstättentypen Veranlassung gegeben hat.[18]) Kupferkies ist einerseits im Glarner Verrucano (Mürtschenalp) als Gang- und Lagermineral bekannt, und zwar mit etwas Fahlerz, Molybdänglanz und Uranglimmer, sowie mit Zementationserzen und Umwandlungsmineralien, ferner auch an verschiedenen Orten des Engadins, wo er mit basischen Eruptiva und ihren metamorphen Derivaten assoziiert erscheint. Fahlerzvorkommnisse, die auch an verschiedenen Stellen (Filisur, Avers etc.) in Form von Imprägnationen in Triaskalken bekannt sind, treten vornehmlich im Wallis als Fahlbänder in kristallinen Schiefern auf. Die Hauptfundstellen sind im Val d'Anniviers und weisen eine etwas vielseitige Mineralisierung auf, indem die Kupfererze mit silberhaltigem Bleiglanz, Zinkblende, Kobalt und Nickelerzen, Pyrit und Magnetkies nebst quarziger, sideritischer oder barytischer Gangart und Umwandlungsprodukten einbrechen. Das häufig silberhaltige Fahlerz ist auch wismut-, gelegentlich auch molybdänführend (Neubildungen von Wulfenit!); Annivit (Sb-haltig!) und Rionit sind Spezialnamen, die solchen Fahlerzen gegeben werden.

Die oben erwähnten Kobalt- und Nickelerze, die im Val Tourtemagne (Kaltberg) und im Val d'Anniviers (dort z. T. auch von Gängen durchsetzt mit Erzanreicherung an den Gangkreuzungen) auftreten, bilden „typische Fahlbänder, welche große Analogien mit denjenigen von Schladming Steiermark und Skutterud-Snarum in Norwegen aufweisen."[19]) Die Erze umfassen: Smaltin (vorwiegendes Erz auf Kaltberg, auch als Einzelkristalle), Chloanthit, Nickelin (besonders in Verbindung mit den Gängen des Val d'Anniviers), Skutterudit (kristallisiert mit (111), (211), (001), (110), (210)), gediegen Wismut, Wismutglanz, Kobaltin, Mißpickel, Loelingit, Aikinit ($BiS_3 . CuPb$), sowie Umwandlungsprodukte und sideritischer Gangart.

Nickel tritt ebenfalls an einigen Orten des Unterengadins (Clemgiaschlucht) auf, hier in einer hydrosilikatischen Nickelerzformation in Zusammenhang mit basischen Eruptiva. Die Erze sind von der Art des Röttisites und stehen in

---

[18]) C. Schmidt, loc. cit., p. 209 ff.
[19]) C. Schmidt, loc. cit., p. 224.

engstem Zusammenhang mit diversen Karbonaten, vornehmlich Magnesit und Dolomit („Taraspit").

Schon diese ganz summarische Zusammenstellung der schweizerischen Erzlagerstätten[20]) läßt erkennen, daß dieselben recht mannigfaltiger Art sind. Verfolgt man aber die Geschichte des Bergbaues mehr im Detail, so tritt allenthalben als charakteristischer Zug die Tatsache hervor, daß die Betriebe durchwegs äußerst sporadisch und unregelmäßig arbeiteten; nur in seltenen Fällen können die Unternehmungen als konkurrenzfähig bezeichnet werden. Die Ausbeutung, die vielfach schon im Mittelalter oder gar im Altertum einsetzte, ist nur mit immerwährenden Unterbrüchen bis in unsere Zeiten fortgesetzt worden. Das Gonzenwerk, das einen der größten Betriebe darstellt, weist in seiner Geschichte zwischen großen Aktivitätsperioden Zeiten „tiefer Dekadenz" auf[21]) und ähnliches ist von fast allen anderen Betrieben auch zu berichten. Selbst der Weltkrieg, der einen starken Aufschwung der Tätigkeit mit sich brachte, hat wenig an diesen Zuständen zu ändern vermocht.[22])

An diesen ungünstigen Verhältnissen sind große Abbauschwierigkeiten, sowie auch teuere und umständliche Transportverhältnisse z. T. schuld; allein nicht nur sie sind ausschlaggebend. In weitgehendem Maße liegt die eigentliche Ursache in der unregelmäßigen, oft sehr wenig ausgedehnten Mineralisierung der Lagerstätten. Mächtige und reichhaltige Erzlagerstätten fehlen dem schweizerischen Alpengebirge fast vollständig; die vorangegangene Zusammenstellung zeigt, daß es an Vorkommnissen der verschiedensten Art nicht fehlt, doch erweisen sie sich in der Großzahl der Fälle als sehr stark lokalisiert und vermögen kaum je dem allgemeineren geologischen Bilde ein spezifisches Gepräge aufzudrücken. Die geologischen Faktoren, denen das Alpen-

[20]) Ausführlichere Darstellungen über dieses Thema sind außer in den bereits erwähnten Schriften noch in der Reihe der Publikationen der Geotechnischen Kommission, sowie in zahlreichen Einzelarbeiten zu finden. Siehe speziell auch W. Hotz, „Die Lagerstätten nutzbarer Mineralien in der Schweiz" mit Karte, Ztschr. f. prakt. Geologie, 17. Jahrg., 1909, p. 29.

[21]) C. Schmidt, loc. cit., p. 178.

[22]) Über diese Phase der Aktivität siehe H. Fehlmann, „Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges". Bern 1919.

gebirge seine Entstehung verdankt, vermochten keine Erzlagerstätten im Großen zu bilden. Man kann im Gegenteil sagen, daß das Fehlen von solchen ein durchaus charakteristischer Zug der alpinen Physiognomie darstellt.

Für diesen Sachverhalt lassen sich wenigstens vermutungsweise Gründe angeben: sie sind teils minerogenetischer, teils geologischer Natur.

Sieht man zunächst von den spezifisch sedimentogenen Lagerstätten ab, und geht man den Verhältnissen der Entstehung und Verbreitung von Erzgängen, Fahlbändern, Imprägnationen und dergl. nach, so muß zunächst der Eruptivgesteine gedacht werden, da, wie die Lagerstättenforschung mit immer größerer Sicherheit erkannt hat, alle Bildungen von der Art der Genannten mehr oder weniger enge Beziehungen zu den Eruptivvorgängen aufweisen. So darf vermutet werden, daß die Erzarmut der Schweizeralpen bis zu einem gewissen Grade wenigstens direkt mit den Verhältnissen der Entstehung der schweizerischen Eruptiva in Zusammenhang stehen muß, wobei etwa folgende Umstände maßgebend gewesen sein mögen.[23])

Von den schweizerischen alpinen Eruptivgesteinen sind wohl mehr als $^9/_{10}$ prätriasischen Alters;[24]) die Eruptivtätigkeit, die als Erzerzeugerin in Betracht kommt, ist also zu ganz überwiegendem Teile eine alte, eine Phase jener größeren hercynischen Aktivitätsperiode, der viele Eruptivgesteinsmassen im ganzen übrigen Europa auch ihre Entstehung verdanken. Als Beispiel solcher etwa gleichaltriger außerschweizerischer Gesteinsmassen können angeführt werden granitische Intrusionen des Harzes, Thüringer Waldes, Sächsischen Erzgebirges, der Vogesen, der Bretagne, Cornwalls, Schottlands, Skandinaviens u. s. w. Diese Gesteinskörper, die in ihren näheren petrographisch-provinziellen Eigenschaften, sowie auch in der Tatsache, daß vielfach in ihrem Bereiche klassisch gewordene Erzmineralisierungen stattfanden, sich von den alpinen als different erweisen, weichen auch in ihren Beziehungen zur allgemeinen geologischen Anlage Europas von den alpinen ab.

Die schweizerischen hercynischen Eruptionen sind gegenüber den oben aufgezählten

---

[23]) Die nachfolgenden Angaben entsprechen den Darlegungen Herrn Prof. P. Nigglis in Vorlesungen an der E. T. H.

[24]) Alb. Heim, Geol. d. Schweiz, Bd. II, p. 59.

die einzigen, die in einem Orogen intrudierten, das in der Folgezeit nicht mehr oder weniger starr wurde, also in einem Gebiet, das auch im weiteren Verlauf der geologischen Geschichte sich als Geosynklinalgebiet verhalten hat.

Es herrscht aber seit langem die Überzeugung, daß in einem solchen Gebiet ganz besondere physikalisch-chemische Faktoren obwalten, die das Wesen und den Verlauf der Differentiation (zu welchem, letzten Endes, auch die Erzmineralisierungen gehören) in fundamentaler Weise beeinflussen, und neuerdings ist mit besonderem Nachdruck und auf Grund eines großen Untersuchungsmaterials auf Beziehungen dieser Art hingewiesen worden.

„Die Art der magmatischen Differentiation ist eine Funktion der mit dem Empordringen in Zusammenhang stehenden allgemeinen tektonischen Verhältnisse...“,[25]) und es mag im speziellen die Annäherung an eine noch fortbestehende Geosynklinale, die etwa in der Folge Erzgebirge ⟶ Schwarzwald ⟶ Alpen gegeben war, das fortschreitende Spärlicherwerden der Möglichkeit von langsamen Destillationsvorgängen mit sich gebracht haben, mit der Hand in Hand auch eine Abnahme der Erzmineralisierung erfolgte.

Es scheint der Schluß gerechtfertigt, daß von Hause aus die alpinen Eruptionsprovinzen relativ erzarm waren und zu keiner Zeit ausgiebige Mineralisierungen in ihrem Gefolge aufzuweisen hatten.

Die Tatsache, daß der überwiegende Teil der alpinen erzerzeugenden Tätigkeit prätriasisch war, ist aber auch in anderer Weise bedeutungsvoll für die Lagerstätten gewesen, indem die alpine Faltung mit ihrer mechanisch und chemisch metamorphosierenden Wirkung tiefe Spuren hinterlassen hat. (Ganz ähnliche Einwirkung hatten natürlich die prätriasisch sedimentogenen Lagerstätten auch zu erleiden.) Diese Veränderungen sind z. T. als rein tektonische zu werten und zeigen sich in Dislokationen, Verwerfungen, Auswalzungen und dergl. der Erzkörper (die bereits zitierten Werke geben manche Beispiele von solchen), und es mag füglich angenommen werden, daß extreme Wirkungen dieser Art ur-

[25]) P. Niggli, diese Zeitschrift, Bd. II, Der Taveyannasandstein, u. s. w., p. 260.

sprünglich vorhandene Lagerstätten überhaupt zum Verschwinden gebracht haben mögen. Daneben sind aber auch tiefgreifende chemische Umstempelungen vor sich gegangen. Die Empfindlichkeit der Erzkörper auf „oxydierende", „zementierende" und auslaugende Prozesse aller Art ist wohl bekannt, und es zeigen die Beobachtungen an fast allen schweizerischen Lagerstätten, daß dieselben in sehr reichlichem Maße solchen ausgesetzt worden sind. Eine Anzahl ganz besonders schöner Beispiele findet sich in dem mehrfach zitierten Buche „Die Eisen- und Manganerze der Schweiz", in welcher die stattgehabten Umlagerungen, welche unter Umständen zur Herausbildung von nester- und taschenförmigen Lagern von sedimentogenem Habitus führen können, mit allem Nachdruck betont werden. Es ist also an der Tatsache festzuhalten, daß während und nach der alpinen Faltung in großem Maßstabe Auflösungen und Neuabsatz, verbunden mit Platzveränderungen, Konzentrationen oder Zerstreuung der Erzkörper vor sich gingen, mit welchen auch teilweise oder völlige Umstempelung der Mineralführung parallel gegangen sein mag. In manchen Fällen wird das eine Anreicherung des Vorrates bedeutet haben, in wohl ebenso vielen Fällen wird es aber einer Verarmung durch „Verdünnung" gleichgekommen sein.

Aus dem Gesagten ist ersichtlich, daß nicht nur die Vorgeschichte, sondern auch die Nachgeschichte der Alpen für das Auftreten von größeren Erzvorräten ungünstig ist. Charakterzüge, die als spezifisch „alpin" zu bezeichnen wären, fehlen den Erzvorkommen, es sei denn, daß gerade in der erwähnten, vom technischen Standpunkte aus so ungünstigen mechanischen und chemischen Metamorphose, die sich fast überall bemerkbar macht, solche zu erkennen wären.

Nur auf einen Typus ebenfalls reichlich erzführender Lagerstätten möchte man die Bezeichnung „alpin" anwenden, nämlich auf das Vorkommen von Lengenbach im Binnental. Der zuckerkörnige Dolomit von diesem Fundort ist z. T. massenhaft mit Mineralien imprägniert, und von den mehr als 50 Spezies, die bekannt geworden sind, unter denen Sulfide, Sulfosalze, Sulfarseniate etc. eine wesentliche Rolle spielen, scheinen mehr als die Hälfte (einige 30) nur von dieser einen Stelle bekannt zu sein. Der äußere Habitus des

Auftretens ist der einer pneumatolytisch-hydrothermalen Imprägnation, welche Bildungsweise denn auch für gewöhnlich angenommen wird. Doch haben sowohl mineralogische wie auch tektonische Überlegungen Prof. P. Niggli[26]) dazu geführt, zwar ebenfalls einen solchen Ursprung anzunehmen, jedoch den jetzigen Zustand für einen um sozusagen metamorphen, alpin umgewandelten anzusehen. Die „alpine" Eigenart dieser Binnentaler Lagerstätte würde somit auch in der Tatsache liegen, daß sie starke Veränderungen erlitten hat, daß die Mannigfaltigkeit und der so charakteristische Mineralbestand durch die alpine Metamorphose im Sinne der späteren Kluftlagerstättenbildung erzeugt worden wären.

Geht man nun bei der Betrachtung der alpinen Mineralien über die Erzlagerstätten hinaus und sucht sich von den Verhältnissen in weiterem Sinne einen Begriff zu machen, so findet man auf Schritt und Tritt ähnliche Zustände. Denn nicht nur die Erzmassen sind solchen ummineralisierenden Einflüssen ausgesetzt gewesen, auch die Gesteinskörper aller Art haben die Einwirkung solcher erlitten und sind, wie man genötigt ist anzunehmen, der Wirkung auslaugender Lösungsmittel unterworfen worden. Sie haben an dieselben lösliche Bestandteile ihres Chemismus abgegeben, d. h. (da der Faktor „Zeit" groß in Rechnung gesetzt werden darf) von fast allen Stoffen ihrer Zusammensetzung. Tektonisch bedingte Klüfte und Spalten diverser Art haben erneute Absatzmöglichkeiten geboten, und auf solchen „Kluftlagerstätten" hat sich die schon erwähnte Mineralgesellschaft (Tabelle 1) mit ihrem so eigenen Charakter entwickelt. Diese Lagerstätten heben sich in vielen und wesentlichen Punkten von den Erzgängen ab. Ihre weitgehende Erzarmut ist sogar als Beweis angeführt worden, daß solche Prozesse (man spricht von Lateralsekretion) außerstand sind, eigentliche Erzlager zu schaffen.[27])

Der hier in Frage stehende Mineralbildungsprozeß ist ein seinem Wesen nach hydrothermaler Absatz; er steht zu den Prozessen der Epi-Meso-Metamorphose in engster Beziehung, was sich auch durch viele Analogien zwischen Kluftmineralien und metamorphen kundtut. Schon die obigen kurzen Andeutungen mögen gezeigt haben, daß derselbe

---

[26]) Mündliche Mitteilung.

[27]) P. Niggli, „Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma". Leipzig 1920, p. 213.

einen ebenso charakteristischen Zug der alpinen Geologie darstellt, wie ihre tektonischen und gesteinsbildenden und umbildenden Prozesse, indem das Auftreten der Kluftlagerstätten an dieselben Faktoren gebunden ist, wie letztere Prozesse auch.

Ohne die Bildung dieser Lagerstätten zu berücksichtigen, kann kein vollständiges Bild des Geschehens im gewaltigen Orogen erlangt werden. Der Anspruch auf die Bezeichnung „alpine Lagerstätten" kommt den Mineralklüften zweifellos mit vollem Rechte zu. Die folgenden Paragraphen dieses Referates mögen nun den Kluftlagerstätten gewidmet werden und über deren Morphologie und Inhalt einige Auskunft geben.

Die Morphologie der Kluftlagerstätten.

Um der Morphologie der Klüfte und ihres Inhaltes das richtige Verständnis entgegenzubringen, muß kurz auf die Art ihres Entstehens eingegangen werden. Der Ausdruck „Zerrkluft", besser vielleicht „Scherkluft", zeigt an sich schon deutlich, auf welche Art man sich das Zustandekommen der mineralführenden Hohlräume vorstellt. Die Zerrung, welche zum Aufreißen von Hohlräumen genügte, wird aus Differentialbewegungen, die selber eine Teilerscheinung größerer tektonischer Bewegungen darstellen, hervorgegangen sein. Dabei ist zu bedenken, daß an jedem Punkte eine gewisse Druckverteilung herrschte und Hohlräume nur dort entstehen konnten, wo besondere Verhältnisse der Spannungsverteilung auftraten. Koenigsberger sagt etwas ungenau, daß „eine mechanisch gleichmäßige Verteilung von Druck und Zug" eine notwendige Vorbedingung sei. Jedenfalls sind die Stellen, an denen sich die notwendigen Faktoren alle einstellten, „keineswegs häufig gewesen. Wo dies aber zutraf, sind meistens viele Klüfte nebeneinander." [28]) Ganz zweifellos ließen sich die in Frage kommenden mechanischen Gleich- und Ungleichgewichte noch viel schärfer fassen, am besten unter Zuhilfenahme ähnlicher Methoden, wie Sander, Cloos u. a. auf die sog. „Granittektonik" angewandt haben.

Etwas abweichend von den obigen Verhältnissen, die für Zerrklüfte ganz reiner Ausbildung Geltung haben, gestalten sich die Entstehungsbedingungen von Klüften in

[28]) J. Koenigsberger, Erläuterungen z. geol. u. miner. Karte des Aarmassivs, p. 45.

Gebieten, wo Gesteine vorliegen, die an und für sich schon Gänge vom Typus der Erzgänge enthalten. Unter solchen Umständen kann es nämlich auch vorkommen, daß die neuentstehenden Klüfte sich mehr oder weniger den alten „auflagern", was mit einem Wiederaufreißen der alten Kluft verbunden sein wird. Halten sich die eigentlichen Zerrklüfte sehr stark an gewisse, durch die Kohäsionsverhältnisse des Gesteins bestimmte Richtungen (oft angenähert senkrecht zur Schieferung, mit gleicher Streichrichtung wie diese), so ist das bei den zuletzt gedachten Klüften ebensowenig der Fall wie bei den Gängen, an deren Stelle sie getreten sind. Hier sieht man im Gegenteil eine charakteristische Unabhängigkeit zwischen Kluftrichtung und den sonstigen vorgezeichneten Richtungen im Gesteinskörper, oder ein Zusammenfallen mit der Schieferungsrichtung. Da auch die Mineralisierung solcher Klüfte eine etwas spezielle ist, kann man sagen, daß der ganze Habitus des Auftretens dieser Klüfte dem eines Ganges näher steht, als das bei den sonstigen Zerrklüften der Fall ist, die, wie unten noch näher dargetan wird, durchaus selbständige Entwicklungsart haben.[29])

Soweit die Entstehung der Hohlräume; daß dieselben auf dem Wege der Lateralsekretion gefüllt wurden, ist bereits oben angedeutet worden und wird unten im einzelnen noch näher belegt werden. Hier ist vorläufig die Frage zu beantworten, wie man sich diesen Vorgang zu denken hat, und durch was er hervorgerufen wurde.

Zunächst muß eine Tatsache scharf hervorgehoben werden. Die Mineralien der Klüfte sind nicht bei gewöhnlicher Temperatur ausgeschieden, sondern durch Ausscheidung aus einer warmen Lösung entstanden. Das geht sowohl aus den später zu besprechenden Laboratoriumsversuchen hervor, wie auch aus der Tatsache, daß die Mineralgesellschaft einer jeden Kluft eine einsinnige Abfolge darstellt, bei der ein wohldefinierter Wechsel und Wandel der mineralogischen und chemischen Natur der ausgeschiedenen Stoffe deutlich zu erkennen ist. Diese Beobachtung erscheint nur mit der Annahme eines einmal verlaufenden (Abkühlungs-) Prozesses vereinbar zu sein, wofür auch die Schönheit der entstandenen Kristalle zu sprechen scheint. Unter

[29]) Die obigen Ausführungen ergeben sich aus Beobachtungen, die gelegentlich eines Besuches der Eisenglanz-Klüfte im Val Cornera gemacht wurden.

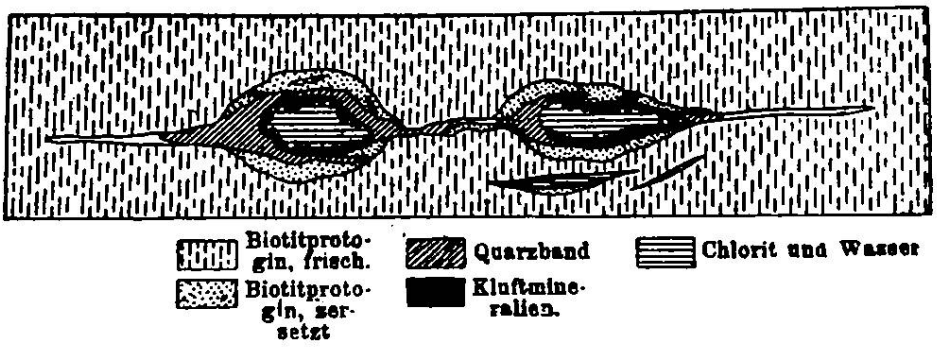
diesen Umständen ist auch mit der jetzt noch weiter dauernden Bildung der Mineralien, die gelegentlich vermutet worden ist, kaum zu rechnen.

Es erhebt sich somit die Frage, woher stammten und welcher Art waren die thermalen Lösungen, aus denen der Mineralabsatz erfolgte? Waren dieselben eingedrungene Oberflächenwässer, freigewordene flüchtige Substanzen des Gesteins oder waren sie Lösungen, die aus der Tiefe emporgestiegen sind. Man hat guten Grund, anzunehmen,[30]) daß während der Faltungsvorgänge der Alpen die magmatische Zone sich zeitweise wenigstens der Oberfläche etwas genähert hat; dafür sprechen zu Beginn und gegen Ende der Faltungsperiode extrudierte ophiolithische und quarzdioritische Gesteinsmassen. Wenn auch in den Zentralmassiven die Annäherung niemals eine so große war, daß etwa Kontaktmetamorphose im Beobachtungsgebiet stattgefunden hätte, so darf immerhin vermutet werden, daß hie und da apomagmatische thermale Lösungen, die bis in die Zone der oberflächlichen tektonischen Vorgänge (in welcher auch die Kluftbildungen liegen) heraufgepreßt wurden. So mag ein Teil der für die Lateralsekretion erforderlichen Lösungen solchen „telepneumatolytischen" (Koenigsberger) Vorgängen zugeschrieben werden. Daß außerdem auch andere Lösungen „per decensum" oder aus dem Gesteinsverband hinzugekommen sind, ist nicht zu bezweifeln.

Beobachtungen, die unten ausführlich erwähnt werden, führen zur Überzeugung, daß die in Frage kommenden Lösungen rein wässerige waren; höchstens, daß kleine Mengen CO_2 und einiger anderer Säureradikale in ihnen enthalten waren. Die Stoffaufnahme muß vorzugsweise auf dem Wege der reinen Lateralsekretion vor sich gegangen sein, und wird in ihrer Wirkungsweise eine zweifache gewesen sein. Einerseits ist anzunehmen, daß die Lösungsmittel durch einfache Zirkulation im Gesteinskörper auf weite Strecken hin kleine Mengen der am leichtesten löslichen Stoffe aufnahmen, sozusagen „diffus" im Gestein aufsammelten. Andrerseits zeigt die Erscheinung der stark zersetzten Gesteinszone (siehe unten), die die Klüfte umgibt, daß von diesen letzteren ausgehend eine besonders

[30]) Diese Darstellung ist diejenige von U. Grubenmann und P. Niggli in der demnächst erscheinenden 3. Auflage der „Kristallinen Schiefer". Der Referent konnte dank der Liebenswürdigkeit der beiden Autoren bereits die Korrekturbogen einsehen.

intensive Auslaugung stattgefunden hat. Es läßt sich das so vorstellen, daß größere Mengen Lösungsmittel sich in den Klüften allmählich ansammelten; stieg die Temperatur, so mußten die Wandungen der Kluft immer undurchlässiger werden und schließlich den Vorrat an Lösungsmittel sozusagen einkapseln. Sie wurden aber dadurch der zersetzenden Wirkung von letzterem in vollem Maße ausgesetzt und mußten so bedeutend mehr und auch schwerer lösliche Bestandteile ihrer Zusammensetzung abgeben, als dies im Verlaufe der einfachen Lösungszirkulation möglich gewesen wäre.



Figur 1.
(Aus J. Koenigsberger: «Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin», loc. cit)

An diese mehr allgemeinen Erörterungen mag jetzt die Besprechung einer typischen Zerrkluft angeschlossen werden. Figur 1 gibt einen schematischen Vertikalschnitt durch zwei solche Mineralklüfte wieder; wie schon aus der Zeichnung ersichtlich, stellen dieselben lokale Ausweitungen einer ganz flach sich erstreckenden Spalte dar. Die Beobachtung lehrt, daß das Muttergestein auf sehr große Strecken hin von diesen Spalten durchzogen sein kann, die somit eine im Vergleich zum Höhenmaß gewaltige Flächenausdehnung besitzen können. Sie sind meistens nur quarzführend oder auch leer und weisen nur in der Umgebung der Klüfte, welche etwa linsenförmige Gestalt haben, Mineralisierung auf. In einigen Fällen haben solche Klüfte Großformen angenommen und zur Bildung eigentlicher Kristallhöhlen oder -keller Anlaß gegeben. Der Aufbau der mineralisierten Partien ist etwas komplex und weist mehrere Zonen auf, die in erster Annäherung konzentrische Schalen darstellen, im einzelnen aber beträchtlich variabel sein können. Vom Muttergestein gegen innen fortschreitend sind hauptsächlich zu unter-

scheiden: a) Die Zone des zersetzten Muttergesteins; b) das Quarzband; c) die Schicht der eigentlichen Mineralführung; d) der innere Hohlraum, welcher oft mit Wasser und Chloritsand angefüllt vorgefunden wurde.

a) Die Zone des zersetzten Muttergesteins, die naturgemäß außerhalb der Klüfte selber liegt und zwischen diesen und der Hauptmasse des Muttergesteins vermittelt, beansprucht auch deshalb besonderes Interesse, weil sie den handgreiflichen Beweis liefert, daß der Stoff, welcher die Mineralführung der Kluft aufbaut, tatsächlich durch Abbau der Gesteinsmineralien gewonnen wurde. Die absolute Mächtigkeit dieser Zone hängt von den Dimensionen der Kluft ab, wie denn auch die Breite des Quarzbandes und die Größe der Kristalle in einem (zweifellos kausalen) Zusammenhang mit dem Kluftausmaß stehen. Diese Abhängigkeitsbeziehungen, zusammen mit dem rein phänomenologischen Tatbestand, scheinen darauf hinzudeuten, daß die Hauptmenge des Stoffes, der in der Kluft enthalten ist, spezifisch aus der zersetzten Zone stammt; immerhin muß sicher damit gerechnet werden, daß ein Teil aus weiterer Entfernung stammt, sozusagen „diffus" im Gestein gesammelt wurde. Zu ähnlichen Resultaten führt auch die systematische Betrachtung der Kluftausfüllungen, die zeigt, daß nicht nur der Durchschnittschemismus einer größeren Gesteinsmasse, sondern auch der spezielle petrographische Charakter des (zersetzten) Gesteins, in dem die Kluft aufsetzt, für die Art der Ausfüllung maßgebend ist. Genauere Untersuchungen der in Frage kommenden Mengenverhältnisse, sowohl am zersetzten Gestein, wie an der Kluftfüllung (die zwar beide schwer durchführbar sind), werden dazu verhelfen müssen, schärfere Vorstellungen über die nähere Herkunft des Inhaltes der Lösungen zu erlangen.

Bezüglich der relativen Mächtigkeit der Zersetzungszone gilt, daß sie sich (durch mikroskopische Beobachtung wenigstens) auf ein Vielfaches der Kluftbreite verfolgen läßt; am mächtigsten ist sie dort, wo auch die Kluft das größte Ausmaß hat, während am Ausgehenden der Kluft, wo hauptsächlich Quarzband zu finden ist (siehe unten), sie auf geringe Dimensionen zurückgehen kann. Das zersetzte Gestein hebt sich öfters scharf vom frischen ab, indem, namentlich in Kluftnähe, makroskopisch schon Anzeichen von Auslaugung erkennbar werden, dadurch, daß Farbenwechsel auftreten, daß das Gefüge locker, sogar ausgefressen oder

ausgehöhlt erscheint. Vor allem aber machen sich Verschiebungen im Mineralbestand bemerkbar, hervorgerufen durch Verschwinden gewisser Gemengteile, sowie durch Neukristallisationen, die also bereits außerhalb der Kluft einsetzten. Mikroskopisch lassen sich die Stoffverschiebungen genau beobachten; sie sollen im nächsten Abschnitte erörtert werden. Mit einiger Annäherung läßt sich die Zersetzungszone dreiteilen, nämlich in eine äußere Partie, wo neben den ursprünglichen Gesteinsmineralien Neubildungen bereits auftreten, in eine mittlere, wo Neubildungen vorherrschen, und in eine innere (der Kluft nächst gelegene), wo Neubildungen der Kategorie a und b (siehe nächster Abschnitt) verschwunden sind unter Zurücklassung von Mineralien der Kategorie c (Tonerdeverbindungen und dergl.) und von einigen weiteren Mineralien, die in der Kluft Frühausscheidungen darstellen (siehe Sukzession), wie z. B. Quarz, Albit und Adular.

Ist in der Zersetzungszone außerhalb der Kluft die Auslaugung durch wässeriges Lösungsmittel zweifellos die augenfälligste Erscheinung, so sind innerhalb der Kluft selber die Merkmale des Absatzes aus wässeriger Lösung der dominierende Faktor. Diese Eigenschaft haben die Mineralklüfte mit den Erzgängen gemeinsam, und zeichnen sich ebenso wie diese aus[31]) 1. durch das Fehlen irgendwelcher Anzeichen pyrogener Prozesse, 2. durch das Vorwiegen eines seinem Wesen nach krustenförmigen Absatzes der Mineralien. Die erste (älteste) solche Kruste ist

b) Das Quarzband. Man versteht darunter die größeren Quarzmassen, die einen Großteil der Ausfüllung aller Spalten und Klüfte, unter Umständen auch die alleinige Mineralführung sein können. Nur bei basischem Muttergestein pflegen solche Quarzmassen zu fehlen. Die kursorische Betrachtung ergibt den Eindruck, daß diese Massen derb sind; doch zerbröckeln sie meist leicht unter den Fingern, und eine etwas nähere Untersuchung zeigt dann, daß es sich um ein Aggregat dicht aneinander gewachsener Einzelindividuen handelt, von welchen jedes bestrebt ist, die ihm zukommenden Flächen zu entwickeln, was aber infolge der gestörten Wachstumsbedingungen nur teilweise und unregelmäßig, und speziell bei den Hauptflächen (Prismen und Rhomboeder) gelingt. Diesem (Band-) Quarz ist

[31]) Siehe z. B. L. de Launay, Gîtes Minéraux et Metallifères Paris 1913, Bd. I, p. 125.

im allgemeinen viel weniger Aufmerksamkeit gewidmet worden, als dem vorzüglich kristallisierten der eigentlichen Kluftfüllung, so daß seine kristallographischen Eigenschaften nicht so genau bekannt sind, als bei jenem. Es ist deshalb auch nicht möglich, mit derselben Sicherheit die Temperatur seiner Entstehung anzugeben, wie beim andern Teil (siehe p. 345); doch spricht die Wahrscheinlichkeit sehr dafür, daß auch er bei ähnlichen Temperaturen ausgeschieden wurde, mit dem einzigen Unterschiede, daß die Bedingungen seiner Kristallisation etwas andere waren, als die der Kluftausfüllung im engeren Sinne.

Die räumliche Anordnung des Quarzbandes innerhalb der Spalten und Klüfte erlaubt einige diesbezügliche Rückschlüsse. Es zeigt sich nämlich, daß es stets an den äußeren Partien der Kluft (auf dem Gestein bezw. seinem Zersetzungsprodukte, z. T. schon in diesem drin) aufsitzt. So bildet er in den breiten Teilen der Kluft häufig die Unterlage der anderen Kristallisationen, ist aber besonders dort, wo die Kluft sich verengt, also am Ausgehenden derselben gegen die Spalte hin, stark entwickelt, und gewinnt gegen außen hin immer mehr die Oberhand. Diese Erscheinung kann auch experimentell in einem Glasgefäß nachgemacht werden und beruht in diesem Fall darauf, daß die Abkühlung der Lösung dort am raschesten ist, wo ihr Rauminhalt am kleinsten ist im Verhältnis zu ihrer Oberfläche; das bedingt aber früheres Ausscheiden, schnelleres Ausscheiden, endlich auch ausgiebigere Ausscheidung, indem der Stoff immer wieder zu der Stelle geringster Konzentration wandert. Die Eigenschaft des Quarzbandes, die ältesten Ausscheidungen, zugleich das am schlechtesten ausgebildete und an Menge weitaus überwiegende Material zu sein, läßt auf gewisse Analogie der Ausscheidungsbedingungen schließen, wobei allerdings noch die Kenntnis einer Reihe von Faktoren, wie Leitfähigkeiten von Flüssigkeit und Gestein u. s. w. für die genaue Parallelisierung notwendig wäre. Ist aber das Quarzband aus der gleichen Lösung entstanden, wie die übrige Kluftfüllung, so muß erwartet werden, daß auch Anzeichen der anderen in Lösung sich befindlichen Stoffe vorhanden sein müßten, was denn tatsächlich der Fall ist, indem namentlich Calcit, Fluorit sich recht häufig und ebenfalls derb dem Quarz eingewachsen vorfinden. Sie erlauben den Schluß, daß im Quarzband die gleichen Mineralien wie in der Kluft, zwar in viel größerer absoluter Menge und

schlecht ausgebildet, vorliegen, aber doch in gleicher relativer Menge, sowie in gleicher Sukzession. Der Quarz des Bandes ist oft von zahllosen Flüssigkeitseinschlüssen getrübt, was auch als Zeichen der schnelleren Ausscheidung gelten mag. Im Gegensatz zum Quarzband erweckt

c) Die kristallisierte Kluftausfüllung (i. e. S.) den Eindruck einer unter günstigen Bedingungen entstandenen Ausscheidung, indem ihr Aussehen etwa analog künstlichen Kristallisationen ist, die bei äußerst langsamer Abkühlung der Lösung entstehen. In sehr vielen Fällen handelt es sich um Mineralien sehr vollkommener kristallographischer Ausbildung, z. T. wenigstens auch von bedeutendem Flächenreichtum. Die Kristalle ragen frei in die offene Kluft hinein, und besitzen oft eine im Vergleich zu ihrer Gesamtmasse so kleine Anwachsfläche, daß schon geringe Erschütterungen genügen, um sie loszubrechen. Geschah dies noch während der Zeit der betreffenden Stoffausscheidung, so konnte die Anwachsstelle am Kristall auch ausgeheilt werden und es haben sich auf dem Boden der Kluft ringsum ausgebildete Individuen gefunden, die auf diese Weise entstanden sein dürften. Auf Grund der aus den Klüften stammenden Stufen kann keine bestimmte räumliche Orientierung der Kristalle erkannt werden. Sie scheinen im Gegenteil vollständig wirr gelagert, indem die Mineralien entsprechend der erwähnten krustenartigen Ablagerung auf- und ineinander verwachsen, oder zu Gruppen oder Aggregaten vereinigt, scheinbar ohne jede Ordnung gewachsen sind. Vorsichtige Studien an einer noch ungestörten Mineralkluft würden immerhin vielleicht eine gewisse Gesetzmäßigkeit der räumlichen Anordnung, hervorgerufen z. B. durch die Schwerkraft, oder andere richtende Momente, erkennen lassen. So läßt sich z. B. feststellen, daß die Chloritüberzüge gerne auf den unten in der Kluft sitzenden Kristallen erscheinen, den oberen Teil (das Hangende) aber verschonen.

In einer Beziehung indessen ist die Anordnung als streng gesetzmäßig zu bezeichnen. Es sind nämlich die Mineralien nicht alle zur gleichen Zeit, sondern in einem gewissen Nacheinander entstanden. Diese Sukzession, die von Konzentrationen, Löslichkeiten und den von diesen zwei abhängigen Sättigungsgraden der verschiedenen Stoffe beherrscht wird, ist sehr charakteristisch und konstant, und bedingt eine Ordnung der gegenseitigen Lagerungsverhält-

nisse, aus denen dann umgekehrt durch logische Verwertung der Beobachtungstatsachen die Reihenfolge der Ausscheidungen ableitbar ist. Einige typische Fälle und die daraus zu erschließenden Folgerungen mögen dies illustrieren. Ist ein Kristall ganz oder teilweise von einem zweiten eingeschlossen (umwachsen), so wird wohl stets der zweite der jüngere von beiden sein. Es kann indessen die jüngere Bildung die ältere infolge ihrer starken Kristallisationskraft auch heben; deshalb ist das einfache Aufsitzen eines Kristalls auf einem anderen durchaus nicht eindeutig. Die Unterlage kann älter sein, kann aber auch jünger sein, und den aufsitzenden Kristall einfach gehoben haben. Ferner ist noch die Möglichkeit in Betracht zu ziehen, daß kleine Kristalle und namentlich solche von blätteriger Form unter Umständen längere Zeit in der Lösung schweben und erst nach Ablauf einer gewissen Zeit auf eine Unterlage absinken können. Diese Unterlage kann sehr wohl eine jüngere Bildung sein. Eindrücke eines Minerals auf einem anderen, sowie die Erscheinung, daß prismatische oder nadelige Individuen andere Kristalle scheinbar „durchspießen", haben die gleiche Bedeutung, als ob sie in diesen anderen eingeschlossen wären, und deuten auf ältere Bildungen hin. Im allgemeinen werden ganz eindeutige Schlußfolgerungen nur durch den Vergleich der Beziehungen zu verschiedenen anderen Gliedern der Paragenese erzielt werden können. Findet man z. B. an einer Stelle einen Kristall auf Nadeln eines anderen Minerals aufsitzen, daneben aber das erste Mineral von diesen Nadeln „durchspießt", so darf sicher die Kristallisation der Nadeln als älterer Vorgang betrachtet werden, was nach dem Gesagten aus der ersten Beobachtung nicht einwandfrei hervorgeht. Vielfach wird sich zeigen, daß gleichzeitige Bildungsperioden für verschiedene Mineralien vorgelegen haben müssen, was sich daraus ergibt, daß gewisse Verhältnisse auf ältere Entstehung des ersten, andere auf ältere Entstehung des zweiten Minerals hinweisen. So zeigen Paragenesen von Brookit mit Quarz manchmal die Erscheinung, daß an den unteren Teilen der Quarzkristalle (gegen die Anwachsstellen hin) die Täfelchen nur aufsitzen, in den oberen Partien hingegen ganz oder teilweise dem Quarz eingewachsen sind. Folglich dürften die Brookite während der Quarzbildung entstanden, und jünger sein, als die ältesten Teile des Quarzes, der dann aber über die TiO_2-Ausscheidung hinaus sich weiter entwickelte.

Es zeigt sich, daß die Sukzession der alpinen Klüfte eine eindeutige ist, d. h. daß, trotzdem die Einzelheiten der Sukzession von Kluft zu Kluft etwas wechseln, ja sogar bei ausgedehnten Klüften auf derselben Lagerstätte schwanken können, Rekurrenzerscheinungen sehr schwer nachzuweisen sind, wahrscheinlich auch fehlen. Es bedeutet dies, daß wenn die Ausscheidung eines Minerals begonnen hat, sie ohne (wesentlichen) Unterbruch fortdauert, bis der Gehalt am betreffenden Mineral in der Lösung erschöpft ist. Das Verhalten ist also analog dem der Salzgemische, bei denen (kontinuierliche Bedingungsänderungen vorausgesetzt) Rekurrenzen ebenfalls nicht auftreten. Auf Erzgängen sind wiederholte und zeitlich scharf getrennte Ausscheidungsperioden für ein und dasselbe Mineral sehr verbreitet; doch liegen hier wesentlich andere Stoffzufuhrbedingungen vor, die nicht ohne weiteres mit denjenigen der Klüfte verglichen werden können. Daß bei Letzteren auch sonst starke Analogien zu den Salzablagerungen bestehen, wird weiter unten noch gezeigt werden.

Auf den Erzgängen ist mit dem erwähnten, stark diskontinuierlichen Absatz eines Minerals oftmals auch ein Wandel in der morphologischen Ausbildung zu verfolgen; derselbe ist auf Lagerstätten von diesem Typus so ausgeprägt, daß Versuche gemacht worden sind,[32]) die verschiedenen in Betracht kommenden Ausbildungsweisen in Reihen zu ordnen, die einem präzisierbaren Wandel der Entstehungsbedingungen entsprechen würden. Daß auch auf den Klüften die näheren Bedingungen die Kristallgestaltung stark beeinflussen, zeigt z. B. der Calcit, der die rhomboedrische oder skalenoedrische Gestalt bevorzugt, wenn seine Kristallisation mit Mitte oder Ende der Quarzausscheidung zusammenfällt, hingegen die tafelige, wenn er früher, mit dem Adular und Quarz, sich ausscheidet. Es treten manchmal Kristalle beider Gestaltungen zusammen auf, wenn die Ausscheidungsperiode eine genügend ausgedehnte war. Dieser Fall ist einer unter den vielen Beispielen der Habitus- und Trachtverschiebungen bei Mineralien, einer Erscheinung, über die noch wenig Positives ausgesagt werden kann, die aber von höchstem Interesse ist. Es mag hier noch kurz, wenigstens auf die Problemstellung

[32]) W. Maucher, „Die Bildungsreihe der Mineralien". Freiberg 1914.

eingegangen werden, da gehofft werden darf, daß gerade an Hand alpiner Stufen manches noch ermittelt werden kann.

Die an einem Mineral auftretenden Variationen der äußeren Gestaltung lassen sich in zwei Hauptkategorien vereinigen. Die erste umfaßt solche Variationen, die mit der Auswahl der geführten Formen zusammenhängt; es handelt sich somit hier um die Kombinationsverhältnisse des Minerals, und man spricht zweckmäßig von seinem Habitus-Wechsel. Die zweite Kategorie vereinigt die, durch das Überwiegen gewisser Flächen bedingte Eigentümlichkeiten der Gestalt, die im Gegensatz zu den obigen als Trachten des Minerals zu bezeichnen wären. Eine scharfe Trennung zwischen beiden dürfte schon aus dem Grunde nicht möglich sein, weil das Vorherrschen der einen oder anderen Flächen (Trachtenänderung) mit spezifischen Habitusänderungen oft Hand in Hand zu gehen scheint. Wie sehr zahlreiche Beobachtungen zeigen, sind sowohl Habitus- wie Trachtänderungen von den näheren Umständen der Entstehung abhängig, doch ist es wahrscheinlich, daß die Art und Weise, wie solche äußere Faktoren (Lagerstättenfaktoren) eingreifen, in beiden Fällen nicht die gleiche ist. So konnte der Referent am Anatas[33]) nachweisen, daß die Kombinationsverhältnisse sehr weitgehend von einigen wenigen Formen (Leitformen) beherrscht werden in dem Sinne, daß das Auftreten einer gegebenen Leitform die Kombination in ganz spezifischer Weise beeinflußt. Formen, die nicht Leitformen sind (und das sind die meisten), können in jeder Kombination gefunden werden. Die Art dieser Leitformen und der mit ihnen zusammenhängenden Habitustypen lassen sich aber recht eindeutig aus den inneren (strukturellen) Eigenschaften des Minerals ableiten, und sind durch seinen elementaren Aufbau (Ionen, Atome, Moleküle) bedingt. Die Einwirkung der äußeren Faktoren dürfte lediglich eine Auswahl unter den möglichen Habiti bewerkstelligen, nicht aber die Natur des Habitus selbst näher beeinflussen. Unter „äußere Einflüsse" sind hier ganz besonders chemische Einflüsse zu erwarten, und es sollte stets die Angabe eines bestimmten Habitus von genauen paragenetischen Daten begleitet sein, da diese die einzigen positiven Hinweise auf die bei der Entstehung herrschenden Bedingungen vermitteln. So zeigt z. B. der Anatas wenig-

[33]) Robert L. Parker, Zur Kristallographie von Anatas und Rutil. Zeitschr. f. Krist., Bd. LVIII, p. 522.

stens vier verschiedene Haupt-Habitustypen (die durch Detailverfolgung sich aber noch wesentlich vermehren), von denen einige, z. B. der „doppelt-prismatische" (mit (110) und (010)), sowie „einfach prismatische" (mit 110) oder (010)) sehr weitgehend auf alpine Vorkommnisse, unter diesen wieder besonders auf Binnentaler Lagerstätten beschränkt sind; andere, z. B. verschiedene „stumpf pyramidale" (d. s. Kombinationen in Abhängigkeit einer der Formen (117), (115), (113), (112)) sind etwas weniger lokalisiert, währenddem „spitz pyramidale" (mit (111) allein oder in flächenarmen Kombinationen) sehr weite Verbreitung auch außerhalb der Alpen besitzen. Theoretisch läßt sich zeigen, daß die beiden ersten, die auch formenreich sind, unter komplexeren chemischen Bedingungen entstanden sein dürften (bei denen speziell auch Halogen eine Rolle gespielt haben dürfte), und es wäre sehr wünschenswert, die Paragenesen genau auf etwaige Anzeichen solcher Zustände zu prüfen, insbesondere auch auf Anzeichen der Halogenelemente durch das paragenetische Auftreten von Mineralien, die solche führen (Apatit, Fluorit etc.), zu achten. Da schon geringe Verschiebungen innerhalb der Sukzession der Ausscheidung, also im relativen Alter der Kristalle, unter Umständen genügen würden, den theoretischen Vermutungen die nötige Unterlage und Bestätigung zu geben, ist ersichtlich, daß höchste Anforderungen an die Genauigkeit der Beobachtung gestellt werden. Im übrigen ist beachtenswert, daß beim Anatas (wie bei anderen Mineralien, z. B. auch Titanit) Beziehungen zwischen Habitus und Farbe zu bestehen scheinen. So zeigen die „doppeltprismatischen" und „einfach prismatischen" Anataskristalle wohl stets Braunfärbung; „stumpf pyramidale" können einerseits lichte Gelb- oder Grünfärbung (bei oft sehr klarer Beschaffenheit) aufweisen, andrerseits aber auch undurchsichtige Kristalle mit dunkelblauer Farbe und metallartigem Glanz liefern. Spitz pyramidale Kristalle sind wohl ausnahmslos mit den zuletzt genannten Eigenschaften bekannt.

Die Tracht eines Minerals kann geometrisch gesprochen entweder symmetrisch oder assymmetrisch sein. Ersteres ist dann der Fall, wenn alle einer Form zugehörigen Flächen gleichmäßig stark hervortretend die Gestalt beherrschen. Letzteres tritt dann ein, wenn eine sogenannte Verzerrung (d. i. ein Kristall, dessen gleichwertige Flächen ungleiche Zentraldistanzen haben) so oft wiederkehrt, daß in seinem

Erscheinen eine gewisse Gesetzmäßigkeit sich zu erkennen gibt. Namentlich der erste Fall schließt sich eng an die Habitusbetrachtung an, indem gerade diese Art der Trachtkonstanz bei bestimmtem Habitus sehr häufig ist, z. B. am Anatas eine langprismatische Tracht in Verbindung mit einem einfach prismatischen Habitus (mit (010)), aber auch sonst ist diese Art der Trachtgestaltung häufig, was sich z. B. schon an der nach (001) tafeligen Tracht des Anatas zeigen läßt. Als Habitus hätte diese Ausbildung offenbar keine selbständige Existenzmöglichkeit und ist in der Hauptsache an die diversen stumpf pyramidalen Habiti gebunden. Schon diese Angaben zeigen zur Genüge, daß bei der Beschreibung einer gegebenen Trachtentwicklung stets der dazugehörige Habitus genau anzugeben ist, und zwar sowohl bei symmetrischer wie bei unsymmetrischer Tracht. Letztere sind von allergrößtem Interesse und äußern sich in dem starken Hervortreten einer oder einiger wenigen Flächen unabhängig vom Formenverband. Quarze mit einer vorherrschenden Rhomboederfläche (Maderanertal z. B.) oder zwei stark entwickelten Prismenflächen („rhombische Tracht", Gotthard etc.), Granattrachten mit einigen stark ausgebildeten Deltoidikositetraederflächen, die scheinbare Streckung nach einer Achse hervorrufen, sind allbekannte Beispiele dieser Erscheinung. Die theoretische Deutung stößt hier auf wesentlich größere Schwierigkeiten als bei der Habitusuntersuchung. Solange das starke Hervortreten geometrisch symmetrisch vor sich geht, mögen noch innere Eigenschaften des Kristalls, wie bei der Habitusbetrachtung, als das Fundamentale betrachtet werden, wenngleich mit Nachdruck darauf hinzuweisen ist, daß die in der Natur groß sich entwickelnden Flächen durchaus nicht immer die (strukturell) scheinbar prädestinierten sind. So wäre zu erwarten, daß am Anatas (110) viel eher als (010) trachtbestimmend auftreten würde. Langprismatische Ausbildungen mit (110) sind bekannt, aber sehr selten (Palache und Warren, Ztschr. f. Krist. 49, 354), währenddem zahlreiche nach (010) langprismatische Kristalle aus dem Binnentale bekannt sind. Ferner ist (112) viel wichtiger für die Tracht als für die Habitusbestimmung.

Sobald aber die Trachtgestaltung die dem Kristall innewohnende Symmetrie verläßt, wird es wohl aussichtslos sein, im Kristall selber das ausschlaggebende Moment zu suchen. Für manche Verzerrung ist zweifellos die Art der

Stoffzufuhr ausschlaggebend, und es ist deshalb eine genaue Untersuchung, ob irgendwelche Anzeichen von gerichteter Strömung oder Stoffabsatz zu konstatieren ist, stets angebracht. Hingegen weiß man, daß stark assymmetrische Trachten über ganze Gebiete verbreitet sein können, sodaß es ganz den Anschein hat, daß gesetzmäßige, wenn auch höchst komplizierte Vorgänge im Spiel stehen mögen. Jedenfalls ist eine Lösung des Trachtproblems nur auf Grund genauester Beobachtung und unter Berücksichtigung aller Einzelheiten der Paragenese und räumlichen Anordnung zu erhoffen. Das Ziel, das zu erreichen man bestrebt ist, besteht darin, von den Habiti und Trachten eines Minerals, die ja an sich oft so charakteristisch sind, daß eine Fundortsangabe an Hand von ihnen direkt kontrollierbar ist, die genauen Umstände der Entstehung festzulegen und die Wirkungsweise aller in Betracht kommenden Faktoren zu präzisieren.

Der Inhalt der Mineralklüfte.

In Tabelle 1 finden sich die auf den Mineralklüften silikatischer Gesteine auftretenden Mineralien vereinigt; es ist eine recht zahlreiche und mannigfaltige Gesellschaft, obschon nur ein kleiner Teil als wirklich häufig bezeichnet werden kann. Sucht man zunächst sich ein Bild von ihrem qualitativen Chemismus zu machen, so fällt die Tatsache auf, daß die den Mineralien zugrunde liegenden Kationen (Metalle) zum weitaus überwiegenden Teil die nämlichen sind, wie die am Aufbau der Silikatgesteine beteiligten; man sieht, daß Verbindungen des Fe, Ti, Al, Ca, Mg, Na und K neben SiO_2 fast die ganze Liste ausmachen. Zwar treten unter den selteneren Gliedern noch andere Kationen auf, so einige Schwermetalle und Elemente der seltenen Erden; doch ist diesen eine viel zu geringe Rolle beschieden, um die ganz unverkennbare Analogie zu verschleiern. Die Bindungsweise dieser Kationen an Säurereste ist eine etwas mannigfaltige und wird am besten aus folgender Zusammenstellung erhellen.

Fe. Die hauptsächlichsten eisenreichen Mineralien sind Oxyde: Magnetit, Ilmenit, Hämatit, ferner das Sulfid Pyrit, das Karbonat Siderit, sowie die Silikate Epidot und Chlorit. Hämatit spielt in manchen Klüften eine ausschlaggebende Rolle und ist neben Siderit entschieden das wichtigste Mineral. Es ist sehr auffallend, daß die wichtigsten Eisen-

mineralien der Silikatgesteine Biotit, Hornblende und Augit vollständig fehlen.

Tabelle 1.

Liste der in Kluftlagerstätten der Silikatgesteine auftretenden Mineralien.

Sulfide
- Zinkblende
- Magnetkies
- Pyrit
- Bleiglanz
- Kupferkies

Oxyde
- Quarz
- Brookit
- Anatas
- Rutil
- Hämatit
- Ilmenit
- Limonit

Carbonate
- Calcit
- Dolomit
- Magnesit
- Siderit
- Aragonit
- Strontianit
- Cerussit
- Malachit
- Azurit

Diverses
- Magnetit
- Fluorit
- Wulfenit
- Scheelit
- Titanit

Sulfate
- Leadhillit
- Anhydrit
- Baryt

Phosphate
- Xenotim
- Monazit
- Apatit

Silikate
- Turmalin
- Disthen
- Epidot
- Phenakit
- Danburit
- Prehnit
- Axinit
- Muskowit
- Pennin
- Talk
- Nakrit
- Diopsid
- Hornblende
- Amianth
- Beryll
- Adular
- Albit
- Milarit
- Faujasit
- Skolezit
- Laumontit
- Chabasit
- Desmin
- Heulandit
- Apophyllit

Ti. Titan ist ähnlich dem Eisen reichlich in Oxyden vertreten, nämlich im Rutil, Anatas, Brookit und Ilmenit. Seine Rolle als Anion im Titanit ist ebenfalls zu betonen. Das Auftreten ist somit stark verschieden von demjenigen in Silikatgesteinen, in welchen zwar Ilmenit, Rutil und Titanit auch vertreten sind; doch ist dort sein wichtigstes Auftreten in den oben erwähnten femischen Mineralien Biotit, Hornblende und Augit, die hier fehlen. Anatas und Brookit sind, wenn nicht ausschließlich auf Kluftlagerstätten beschränkt, doch ganz besonders typisch für solche.

Al. Aluminium ist besonders als Alumosilikat (Feldspäte) und als Kalk-Alumosilikate (Zeolithe) in den Mineralklüften vertreten, ferner noch in Verbindung mit femischen

Oxyden im Chlorit und im Epidot. Von den ziemlich zahlreichen Verbindungen von Tonerde allein mit Kieselsäure, oder von diesen mit femischen Oxyden, die besonders in den kristallinen Schiefern eine wichtige Rolle spielen, so z. B. Sillimanit, Andalusit, Disthen, Cordierit sei als besonders bezeichnende Tatsache hervorgehoben, daß sie hauptsächlich im Gesteinsverband selber schöne Neukristallisationen liefern (kristalline Schiefer), in den Klüften aber eine etwas mehr untergeordnete Rolle spielen.

Ca. Calcium tritt in recht mannigfachen Verbindungen in den Klüften auf, und zwar als Calciumalumosilikat in den Zeolithen, und im Epidot (mit Fe!) einerseits, andrerseits aber in nicht silikatischer Form, nämlich im Calcit, Aragonit, Anhydrit, Dolomit, Apatit, Fluorit, Scheelit und im Sphen. Sind einige von diesen auch den Silikatgesteinen eigen, so vor allem Epidot, Apatit und Sphen, so ist doch die Art des Auftretens in den Klüften als fundamental anders zu bezeichnen als in den Gesteinen; namentlich äußert sich dies darin, daß die Calcium-Plagioklase, die wohl zweifellos die wichtigsten Calcium-Gesteinsmineralien sind, gänzlich fehlen. (Plagioklase mit mehr als 2 % Ca sind auf Kluftlagerstätten unbekannt.) [34])

Mg. Magnesiumminerale sind Magnesit, Dolomit, vor allem aber Chlorit. Das Fehlen der Gruppe der femischen Gesteinsbildern (Glimmer, Hornblende, Pyroxen, Olivin), die ja auch alle magnesiumhaltig sind, ist auch hier nachdrücklich zu betonen. Talk, Serpetin, Chlorit, die als Umwandlungsprodukte dieser Mineralien bekannt sind, sind auf den Klüften vorhanden, häufig ist allerdings nur letzteres.

Na und K. Alkalifeldspäte und Muskowit sind die Haupt-Alkaliverbindungen der Klüfte; es sind auch die verbreitetsten in Silikatgesteinen. Zu betonen ist, daß hier der Kalifeldspat als Adular auftritt, eine für Kluftlagerstätten ganz bezeichnende Ausbildung des Orthoklases.

Aus obiger Zusammenstellung geht hervor, daß auf Kluftlagerstätten neben Silikaten vor allem Oxyde und Karbonate eine Rolle spielen, weiterhin, wenn auch in quantitativ etwas geringerem Maße, Sulfate, Phosphate, Fluoride und Titanate. Von allen diesen Anionen ist bekannt, daß sie in kleinen Mengen, z. T. nur in Spuren auch in den

---

[34]) J. Koenigsberger, Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin des Aarmassivs, loc. cit., p. 98 (vergl. Hintze: Handbuch der Mineralogie II, p. 1447 ff.).

Silikatgesteinen nachzuweisen sind und man steht somit vor der Tatsache, daß

der Gesamtchemismus der Kluftmineralien aus demjenigen der Silikatgesteine ableitbar ist.

Eine Quelle besonderer chemischer Bestandteile, von welcher den Klüften Stoff zugeführt worden wäre, braucht somit nicht angenommen zu werden. Am ehesten wäre angesichts vieler nicht silikatischer Verbindungen (vorab der Karbonate) an eine Zufuhr von Säuren (in erster Linie Kohlensäure) zu denken; doch ist andrerseits die qualitative Übereinstimmung mit dem Chemismus der silikatischen Gesteine sehr bemerkenswert und eine überzeugende Bestätigung der bereits erwähnten Annahme, daß

die Silikatgesteine, in welchen die Klüfte einbrechen, selber den Stoff zu den Kluftausfüllungen geliefert haben

und daß das stärkere Hervortreten gewisser im Gestein mehr untergeordneter Bestandteile das Werk von Konzentrationsvorgängen darstellt. Freilich hat der so gelieferte Stoff eine vollständige Umarbeitung erfahren, indem, wie die Zusammenstellung zeigt, die Mineralien wesentlich andere sind als die der Gesteine, und es dokumentiert das Fehlen fast aller Feldspäte (bis auf zwei einfache Alkalifeldspäte), sowie auch der haupt femischen Gesteinsgemengteile in den Klüften die radikalen Unterschiede zwischen den Lagerstätten letzterer Art und der Gesteine.

Es ist von einigem Interesse, die Natur dieser Stoffumstempelungen näher zu präzisieren und es mögen diese zunächst allgemein chemisch gefaßt werden. Zwei Tendenzen scheinen vor allem maßgebend zu sein, nämlich die molekulare Vereinfachung und die Hydrolyse.

Die molekulare Vereinfachung äußert sich ganz besonders darin, daß die Stoffe, die in Silikatgesteinen als mehr oder minder komplexe Silikate vorhanden waren, sich als einfache Salze oder Oxyde abzusetzen bestrebt sind. Diese Erscheinung, die auch in anderem Zusammenhang als typisches Ergebnis der Einwirkung thermaler Lösungen auf Silikatgesteine beobachtet wurde,[35]) ist

[35]) Edward Steidtman, Economic Geology 1908, p. 381. A graphic comparison of the alteration of rocks by weathering with their alteration by hot solutions.

als das Resultat der Auflösung und Zersetzung der ursprünglichen silikatischen Moleküle mit nachheriger Abgabe des gewonnenen Stoffes aus wässeriger Lösung aufzufassen. Ganz besonders prägnant zeigen die Stoffe Fe, Ti und Ca das genannte Verhalten, wie ein Blick auf die obige Zusammenstellung zeigt; in Übereinstimmung mit sonstigen Erfahrungstatsachen über Löslichkeit zeigt von diesen dreien auch das Calcium die größte Mannigfaltigkeit im Auftreten.

Die Tendenz zur Hydrolyse ergibt sich aus der Gegenüberstellung der Silikate der Gesteine mit denen der Klüfte; unter den letzteren sind wasserhaltige Moleküle bedeutend zahlreicher vertreten. Wieder sind es Ca und Fe, ferner noch Mg, welche die allertypischsten Beispiele liefern. Das Auftreten der wasserhaltigen Zeolithe, gewissermaßen an Stelle der pyrogenen Plagioklase und des Chlorites an Stelle der femischen Mineralien, die ja ebenfalls einen starken Temperaturfaktor bei der Entstehung benötigen, charakterisiert die Bildungsbedingungen der Kluftmineralien in überaus sprechender Weise. Die allgemeinen Umwandlungstendenzen zeigen im Vorliegenden eine Analogie mit denjenigen der Epizone der Gesteinsmetamorphose nach U. Grubenmann,[36]) indem auch für diese die Bildung von wasserhaltigen Molekülen (dank dem reichlichen Wassergehalt und der geringen Temperatur) ein maßgebender Vorgang ist. Die Tatsache, daß auch andere in den Klüften erscheinende Silikate, wie Epidot und Muskovit, ebenfalls epimetamorphe Mineralien darstellen, bekräftigt diese Auffassung.

Wo im ursprünglichen Gesteinsverband an sich lösliche oder relativ lösliche Mineralien vorlagen, ist zu erwarten, daß dieselben in (chemisch wenigstens) unverändertem Zustande auf der Kluft erscheinen werden, namentlich auch dann, wenn das Molekül gegen Umwandlungen widerstandsfähig ist. Von diesen Fällen werden einzelne noch zu besprechen sein; doch sei auch hier festgestellt, daß das Auftreten gerade der Alkalialumosilikate (Feldspäte) in gleichen Molekülen, wie in den Silikatgesteinen, zweifellos charakteristisch ist. Daß die spezifischen Alumosilikate, wie Disthen und Staurolith, in den Klüften spärlich sind, obschon auch sie epimetamorphe Mineralien darstellen, wird auf eben der entgegengesetzten Erscheinung, nämlich auf der sehr geringen Löslichkeit, beruhen, die eher zu Umkristallisationen

[36]) Siehe die Kristallinen Schiefer, 2. Auflage, Berlin 1910, p. 78.

auf Ort und Stelle, also im Gesteinsverband selber, als zu dem Abwandern in die Klüfte Veranlassung gab.

Dieser Gedankengang führt zur Aufstellung einer auf den Eigenschaften der Mineralien fußenden Einteilung, die etwa folgende Glieder aufweisen muß:

a) Lösliche Mineralien mit widerstandsfähigem bezw. stabilem Molekül. Sie erscheinen in chemisch gleicher Form in den Klüften, wie in den Gesteinen.

b) Lösliche Mineralien mit wenig widerstandsfähigem oder unstabilem Molekül. Sie ergeben Neubildungen in der Kluft, die entweder neue Silikate sind (dann sehr häufig wasserhaltig) oder nicht silikatische Verbindungen.

c) Unlösliche Mineralien. Sie nehmen in geringem Maße an den Vorgängen a) oder b) teil, bleiben aber vornehmlich als Neukristallisierungen im Gestein zurück.

Bei der Verwertung obiger Einteilung muß natürlich in Betracht gezogen werden, daß durch Zersetzung frei werdende Moleküle sich ihrerseits genau gleich verhalten werden, wie wenn sie ursprünglich im Gestein vorhanden gewesen wären; sie lassen sich dann wiederum in eine dieser drei Kategorien einreihen.

Als Mineralien der Kategorie a) werden vermutungsweise alle diejenigen anzuführen sein, die den Gesteinen und den Klüften gemeinsam angehören, wobei freilich zu betonen ist, daß sie deshalb durchaus nicht die Haupt-Stofflieferanten der betreffenden Kluftmineralien zu sein brauchen. Der weitaus wichtigste ist zweifellos der Quarz, wenngleich auch ein Gutteil des Kluft-Quarzes das Ausscheidungsprodukt stattgehabter Reaktionen darstellen mag. Auch andere Oxyde sind, wie die Tabelle zeigt, hierher zu rechnen, so z. B. Hämatit und Rutil; an letzterem ist aber auch häufig die Umwandlung in Anatas oder Brookit direkt nachweisbar. Weitere Mineralien sind Apatit, Fluorit, Sphen, selbstverständlich auch die leicht löslichen Salze, wie Calcit, Dolomit, Anhydrit u. s. w., insofern sie dem Gesteinsverband angehören.

Unter den Silikaten sind vor allem die Alkalifeldspäte (neben Orthoklas und Albit noch Mikroklin etc.) zu nennen. Beobachtungen am Muttergestein zeigen, daß starke Zersetzungen stattgefunden haben (Bildung von Sillimanit und Kaolin), „was auf Dissoziation und Löslichkeit hinweist.“ [37])

[37]) J. Koenigsberger, Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin des Aarmassivs, loc. cit., p. 102.

Andere Silikate, die vermutungsweise hierher gehören, wären Turmalin, Muskovit, ferner auch Beryll und Diopsid, die als Seltenheiten in den Klüften bekannt sind, natürlich auch Chlorit und Epidot, wenn das Muttergestein schon metamorph war und diese Komponenten bereits enthielt.

Typische Vertreter der Gruppe b) sind die Plagioklase, Biotit und Hornblende.

Kalkhaltige Plagioklase ergeben bei der Zersetzung, wie aus der Petrographie bekannt, Kaolin, Sillimanit, Zoisit, Epidot, Glimmer, Albit und Quarz; bei weitergehender Zersetzung zerfallen auch Zoisit und Glimmer, unter weiterer Quarzausscheidung und Karbonatbildung. Es entstehen somit eine Reihe löslicher Verbindungen, die den Klüften zugute kommen werden, daneben aber typisch unlösliche Verbindungen, wie manche Tonerdeverbindungen, die wenig oder gar nicht in die Kluft gelangen, sondern im Gestein zurückbleiben. Solche Mineralien sind, insofern sie als solche im Gestein bereits vorhanden waren, als Vertreter der Kategorie c) anzusprechen. Daß je nach der Zusammensetzung der Plagioklase (Ca-Gehalt), sowie je nach dem Grade der Zersetzung Verschiebungen in den relativen Mengen der Neubildungen stattfinden müssen, wird angesichts der Mannigfaltigkeit sowohl der Edukte wie der Produkte sofort verständlich sein. Es ist weiterhin bekannt, daß sowohl die Plagioklase kalihaltig sind wie auch die Orthoklase natronhaltig. Beide Tatsachen sind von Wichtigkeit, da der Natrongehalt die Löslichkeit des Orthoklases erhöhen kann, ein Kaligehalt des Plagioklases aber bei der Zersetzung des letzteren freie Orthoklasmoleküle ergibt. In beiden Fällen müßte gesteigerte Adularbildung resultieren. Ein Blick auf die Liste der Zeolithe der Klüfte zeigt, daß es sich fast ausschließlich um Kalkzeolithe handelt; angesichts der Tatsache, daß die Plagioklase eine der Haupt-Kalklieferanten darstellen, ist zu vermuten, daß die Zeolithbildung also auch von ihrer Anwesenheit abhängen muß. Es ist dies auch tatsächlich der Fall, doch ist für die Zeolithbildung ein größerer Alkaligehalt der Lösungen notwendig, was also dem Auftreten dieser Mineralien eine gewisse Grenze setzt. Sehr deutlich zeigt die regionale Verbreitung der Zeolithe ihr Gebundensein an alkalireichere Gesteinsprovinzen (Aar-Massiv).[38])

---

[38]) Robert L. Parker, diese Zeitschrift, Bd. II, p. 290, „Über einige schweizerische Zeolithparagenesen".

Der Chemismus der Biotite ist, wie die Analysenzusammenstellungen zeigen,[39]) kompliziert und recht variabel, so daß das Mineral bei der Zersetzung je nach seinem besonderen Charakter und nach dem Grad der Zersetzung zu ganz verschiedenen Produkten führen kann. Zweifellos der wichtigste Umsatz ist die allbekannte Umwandlung zu Chlorit, die mit Wasseraufnahme verbunden ist, außerdem mit Ausscheidung von Alkalikarbonat, das infolge der Löslichkeit verloren geht, ferner von Tonerdesilikat und von Quarz. Ein besonderer Verlust an Eisen ist bei diesem Vorgang kaum zu gewärtigen, es sei denn, daß der Biotit oder der resultierende Chlorit spezielle Zusammensetzungen aufweisen würden. Hingegen tritt Verlust an Eisen normalerweise bei der sogenannten Ausbleichung zu Muskovit auf, indem bei dieser der wenig resistenzfähige Olivinanteil verloren geht. Daß im einen wie im anderen Fall das Freiwerden von Eisen die Hämatitbildung begünstigen wird, liegt auf der Hand. Dem Eisengehalt der Biotite geht vielfach auch der Titangehalt parallel. Ausscheidungen von Titan als Rutil (Sagenit) oder Titanit sind schon im wenig veränderten Biotit häufig, und fortschreitende Umwandlung wird diese Stoffe in relativ großer Menge den Lösungen zuführen, so daß der Biotit als ein Hauptlieferant der Titanoxyd-Mineralien angesehen werden muß. Calcium ist ein häufig wiederkehrender Bestandteil der dunkeln Glimmer und ermöglicht die nicht seltene Epidotbildung auf Kosten von Biotit. Ein Fl-Gehalt, der sehr weit verbreitet ist, kann mit vorhandenem Calcium (wohl hauptsächlich der Plagioklase) zur Fluoritbildung beitragen, und P_2O_5, das in Analysen gelegentlich bis zu einigen Zehnteln Prozent angegeben wird,[40]) speziell auch in aarmassivischen Biotiten von J. Koenigsberger angegeben wird,[41]) mag in ähnlicher Weise dem Apatit zukommen. Bei weitgehender Desintegration wird auch bei diesem Zerfallsprozeß Karbonatbildung zu gewärtigen sein.

---

[39]) Eine umfassende Analysensammlung bei Hintze: Handbuch der Mineralogie, Bd. II, p. 580 ff., wie auch im Handbuch der Mineralchemie von Doelter, Bd. II 2, p. 180. Spezialarbeiten sind Hans Hirschi: „Beiträge zur Kenntnis der gesteinsbildenden Biotite". Inaug.-Diss. Zürich 1901. Paul Seidel: „Beiträge zur Kenntnis der gesteinsbildenden Biotite". Inaug.-Diss. Zürich 1906.

[40]) Das Fehlen desselben in den Analysen entspricht wohl nicht immer auch dem Fehlen im Mineral.

[41]) J. Koenigsberger, Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin des Aarmassivs. loc. cit., p. 53.

Ähnliche Ergebnisse würde auch die Diskussion der anderen femischen Mineralien ergeben. Von der Hornblende sei noch erwähnt, daß sie dank ihrem größeren Calciumgehalt reichlich Epidot liefern kann, in vielen Fällen aber auch in chemisch wenig veränderter Form als Strahlstein, Amianth, Asbest und dergl. in die Kluft übergeht.

Obige Beispiele, die natürlich sehr vermehrt werden könnten, mögen zeigen, in welcher Weise sich die Stoffgewinnung für die Kluftmineralien zu denken ist, wobei noch einmal betont sei, daß das Vorhandensein von sehr geringen Spuren eines Stoffes im Einzelmineral durch Konzentration zweifellos zum wirksamen Faktor werden kann. Dieses Prinzip hat über die alpine Mineralogie hinaus weittragende Bedeutung, worauf besonders De Launay aufmerksam gemacht hat.[42])

Folgende approximative Berechnung J. Koenigsbergers[43]) mag noch dazu dienen, die Begriffe etwas zu präzisieren:

Durch Analyse festgestellter Fl-Gehalt des Muttergesteins 0,06 %.

Fluoritmenge der Kluft, auch wenn reichlich nur ca. $^1/_{200}$ der Quarzmenge = ca. 45 % des zersetzten Plagioklases = ca. 10 % des Muttergesteins.

Demnach erforderliche Menge Fl im Gestein 0,05 %.

Es ist bis jetzt von den Mineralien der Klüfte in ihrer Gesamtheit gesprochen worden, als ob alle von ihnen auf allen Klüften zu finden wären. Das ist nicht der Fall; es lassen sich Typen unterscheiden, die insgesamt sich auf 150 belaufen. Eine wie starke Einschränkung dies bedeutet, erhellt aus der Tatsache, daß von den 14 häufigsten Mineralien insgesamt 19814 Kombinationen aufgestellt werden könnten, sogar von den 3—4 wichtigsten unter diesen bereits 1365. Daß es trotzdem gerechtfertigt ist, von den Kluftmineralien als einer Einheit zu sprechen, ergibt sich aus der Tatsache, daß ihr Gesamtbild doch sehr starke Eigenheit aufweist, und sich sogar von den ihnen engverwandten Gang- und Drusenbildungen in zahlreichen Einzelheiten unterscheidet. An dieser Stelle sei nur kurz ange-

[42]) Traité de Metallogenie. Gites Minéraux et Métalliferes. Paris 1913, Bd. I, p. 67.

[43]) J. Koenigsberger, loc. cit., p. 100.

deutet, nach welchen Gesichtspunkten eine Differentiation des Kluftinhaltes statthaben kann.

Entspricht die oben geäußerte Schlußfolgerung, daß die Gesteinsmineralien die Lieferanten des Stoffes für die Klüfte sind, den Tatsachen, so drängt sich sofort die Vermutung auf, daß Variationen dieses Ausgangsmateriales auch Variationen der Neukristallisationen mit sich bringen müssen. Je nach der Art des Ausgangsmateriales und seiner Zusammensetzung (was natürlich nur eine Umschreibung von „Gesteinsart" bedeutet) müßten verschiedene Kluftausfüllungen resultieren. Dies entspricht in jeder Hinsicht auch den beobachteten Tatsachen:

Die Mineralführung der Klüfte ist vom Muttergestein, in welchem die Klüfte aufsetzen, engstens abhängig.

Diese Erkenntnis ist wohl der Hauptgrund, warum angenommen werden muß, daß die Kluftmineralien auf dem Wege der Lateralsekretion entstanden sind.

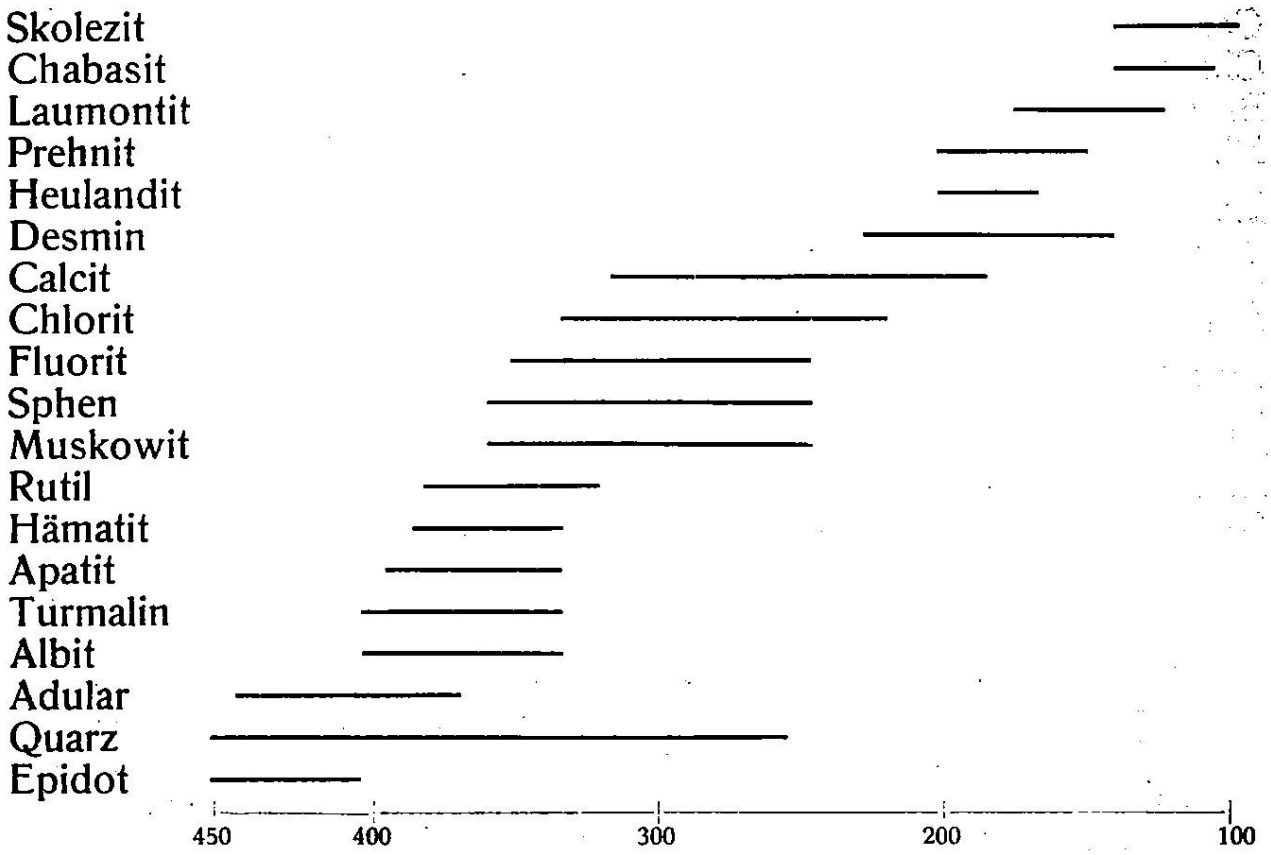
Es mag zunächst gefragt werden, wie weitgehend sich dieses Prinzip geltend macht. Die Antwort darauf lautet, daß petrographische Gliederung und Variationsbreite der Kluftausfüllungen einander ganz entsprechen. Ebenso wie in der Petrographie gesamte Gesteinskomplexe ausgeschieden werden können, die zwar in sich weiter und z. T. recht mannigfaltig gegliedert sind, anderen größeren Komplexen gegenüber aber wohl definiert dastehen, so bei den Klüften auch. Ein ausgezeichnetes Beispiel bietet die Mineralführung des Kluftsystems des Biotitprotogins im Aarmassiv.[44]) Innerhalb dieses, und in einem Bereich von 70 km, besteht eine im Großen ähnliche Paragenese, die mit denjenigen anderer Gesteinsarten desselben Massivs, wie auch mit Vorkommen anderer Massive, scharf kontrastiert. Im Besonderen lassen sich aber eine ganze Reihe einzelner Typen, gegeben in der Hauptsache durch die relative Menge der verschiedenen an sich gleich bleibenden Bestandteile, von denen einzelne an gewissen Fundorten auch auf 0 zurückgehen können, unterscheiden.

Solche Gesichtspunkte sind offenbar geeignet, als Grundlage einer Systematik der Mineralklüfte zu dienen, was auch von Koenigsberger[45]) durchgeführt ist. Vorläufig sei

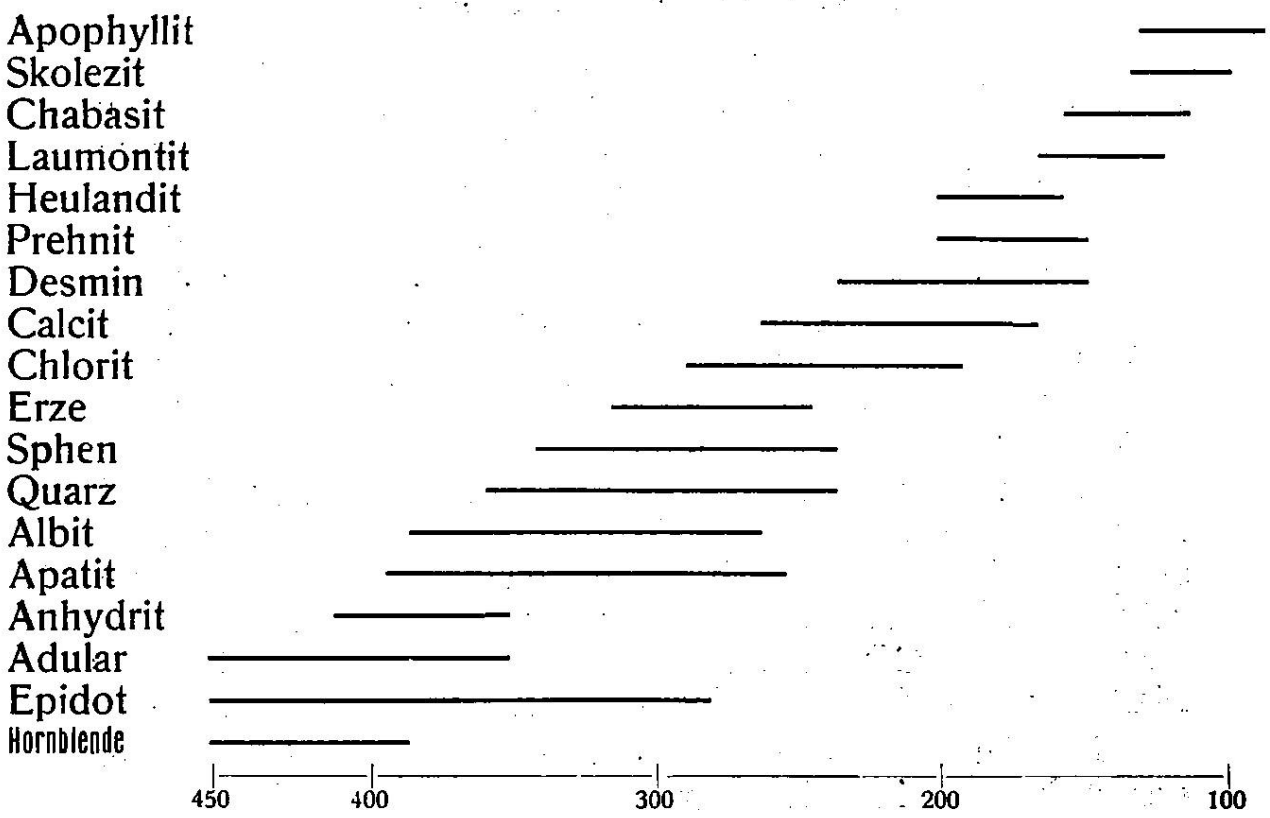
[44]) J. Koenigsberger, loc. cit.

[45]) J. Koenigsberger, Über alpine Minerallagerstätten, I.—III. Teil, loc. cit.

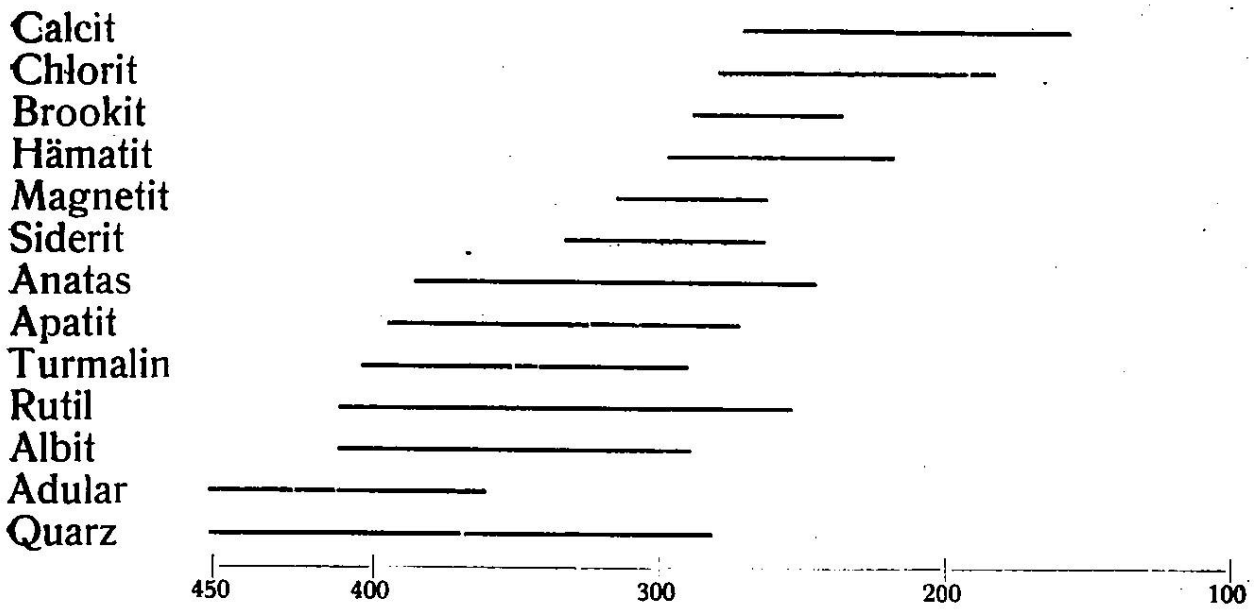
Sammeltypus für saure Ortho-Gesteine.



Sammeltypus für intermediäre Ortho-Gesteine.



Sammeltypus für Para-Schiefer.



eine auf ganz breiter Basis aufgebaute Einteilung in Form dreier Schemata wiedergegeben; die Verteilung der Mineralien wird aus dem bereits Gesagten leicht verständlich sein. Über Einzelheiten der Sukzession und der Temperaturangaben berichtet der nächste Abschnitt.

Die hydrothermale Synthese.

Nachdem in den zwei letzten Abschnitten die Betrachtung der Kluftausfüllungen selber, auch unter Zuhilfenahme von Erfahrungen auf verwandten Untersuchungsgebieten, eine Anzahl Schlußfolgerungen erlaubt hat, wird es von Interesse sein, die experimentelle Forschung zu berücksichtigen, in der Hoffnung, daß dieselbe manches zu erklären im Stande sein wird, im weiteren aber eine Bestätigung, sowie eine mehr quantitative Fassung bereits gewonnener Ansichten ermöglichen wird. Die Hauptfragestellung hat etwa folgendermaßen zu lauten:

1. Bestätigt sich experimentell die Löslichkeit der silikatischen und anderer Gesteinsmineralien in wässerigen Lösungsmitteln unter einfacher Zuhilfenahme erhöhter Temperaturen und Anwesenheit von geringen Mengen anderer Substanzen, wie CO_2, Alkalikarbonaten und dergl. in einem Maße, wie es die Vorstellung der Lateralsekretion fordert?

2. Welches ist das physikalisch-chemische Verhalten derart hergestellter Lösungen?

3. Was für Produkte scheiden sich aus solchen Lösungen aus, und bei welchen Temperaturen findet die Ausscheidung statt?

Die Antwort auf die erste Frage ergibt sich einerseits aus der Reihe der nachher zu erwähnenden hydrothermalen Synthesen, ist aber auch selber Gegenstand zahlreicher Versuche gewesen. Letztere bestanden darin, daß Kristalle, bezw. Kristallplatten und ganz besonders auch feine Kristallpulver, lange Zeit (z. T. durch Jahre) der Wirkung der in Betracht kommenden Lösungsmittel ausgesetzt wurden. Ausgangsmaterial und Lösungsmittel wurden quantitativ chemisch untersucht. Der ganzen Serie solcher Versuche, die bequem unter den einzelnen Mineralien im Handbuch der Mineralchemie von C. Doelter nachzuschlagen sind, darf wohl vorgeworfen werden, daß, auch abgesehen von vielfach mangelhafter Analyse, kaum je Resultate erlangt wurden, die mehr als rein qualitativen Wert besitzen. Allenthalben vermißt man irgendwie schärfer präzisierte, physikalisch-chemische Bedingungen, und hier, wie auch bei der hydrothermalen Synthese, macht sich die enorme Schwierigkeit, die durch die Natur gegebenen Bedingungen innerhalb dem Rahmen des Experimentes zu reproduzieren, aufs äußerste bemerkbar.

Einige typische Ergebnisse auf dem Gebiete gesteinsbildender Mineralien seien im folgenden kurz erwähnt.[16])

(Siehe umstehende Tabelle 2)

Aus den obigen Angaben geht hervor, daß kaum einer der sogenannten Lösungsversuche an Silikaten eigentliche Lösungserscheinungen hervorrief. Es wäre dies der Fall, wenn die aus den Ausgangsmaterialien verloren gegangenen Stoffe untereinander in demselben stöchiometrischen Verhältnis stehen würden, wie im Mineral selbst; dies ist aber praktisch niemals der Fall. In Tat und Wahrheit hat man es mit Zersetzungen der Mineralien zu tun, und zwar unter Anwendung schwacher Mittel, aber unter starker Beanspruchung des Faktors „Zeit", in zweiter Linie auch von Temperatur und Druck. Daß unter diesen Umständen z. T. recht erhebliche Wirkungen zustande kommen, ist schon auf Grund der angeführten Resultate zweifellos, was an sich

[16]) Die folgenden Angaben sind alle nach C. Doelter, loc. cit., zitiert.

Tabelle 2.

Mineral	Autor	Lösungsmittel	Zeit	Temp.	Resultate
Orthoklas (Adular)	R. Müller	Dest. Wasser b. $3^1/_2$ At mit CO_2 gesättigt	50 Tage	?	In Lösung gegangen (pro 100 Teile) K_2O, 1,352% CaO sp, FeO sp, Al_2O_3 0,1368%, SiO_2 0,1552%
do.	J. Koenigsberger u. W. J. Müller	40 ccm H_2O	24 Stunden	350°	Nicht stark aber deutlich wahrnehmbar gelöst. Stärkster Angriff // Hauptspaltbarkeit nach (010), Ätzfiguren auf (001) entsprechen einigermaßen dem monosymmetrischen Charakter
Albit	St. J. Thugutt	900 ccm H_2O auf 6,02 g Subst.	100 Stunden	200°	Ca. 40% gelöst, Flüssigkeit kolloidal deutlich alkalisch. Gelöstes reicher an SiO_2, ärmer an Alkalien als Ab. Na_2O Lg 10,36 Sub 12,07. Al_2O_3 Lg 18,88, S 19,18 SiO_2 Lg 70,76; S 67,46
Oligoklas	R. Müller	H_2O b. 31 At in CO_2 ges.	50 Tage	?	In Lösung gegangen (pro 100 Teile) Na_2O 2,367% K_2O sp CaO 3,213 Al_2O_3 0,1713 Fe_2O_3 sp SiO_2 0,237
Anorthit	C. Doelter	Dest. H_2O	30 Tage	80°	Deutliche Mengen v. Kieselsäure u. Kalk gelöst dagegen nur Sp. v. Tonerde
do.	do.	10% Na_2CO_3 Lg	4 Woch.	180°	Gelöst SiO_2 3,1%, Al_2O_3 5,26%, CaO 12,1%
Biotit	A. Johnstone	reines H_2O	1 Jahr	?	Hydrobiotit
do.	do.	H_2O ges. an CO_2	1 Jahr	?	Mg u. Fe z. T. als Carbonate in Lösung gegangen. Wird Al_2O_3 als konst. angenommen: gelöst pro 100 Teile Oxyd des Ausgangsmat.: ca. SiO_2 5%, K_2O_3 33%, MgO 20%, K_2O 22%
Hornblende (Aktinolith)	C. Doelter	Sodalg.	2 Mon.	180°	In Lösung gegangen 4,11% wovon 1,12 MgO (Ausgangsgehalt an MgO = 21,81%)
do.	R. Müller	CO_2-haltiges H_2O	ca. 2 Mon.	ca. 12°	Gelöst (pro 100 Teile) Na_2O sp MgO sp CaO 8,528, FeO 4,829, Al_2O_3 sp SiO_2 0,419
Augit	F. Sestini	Dest. H_2O	50 Std.		Das Wasser zersetzt den Augit in ein weißes unlösliches Al-Silikat und in lösliche Teile die z. T. ein Ca-Mg-Fe-Orthosilikat darstellen
Quarz	E. Jordis u. E. H. Kanter	Baryt, Strontian Kalkwasser	?	?	Kalkwasser 3—20 mal stärkere Wirkung als die anderen
do.	G. Lunge u. G. Millberg	Na_2CO_3-Lg	2 Std.	Siede-Temp.	5%Lg löste 5,90% SiO_2, 10% Lg löste 8,52% SiO_2, 15% Lg löste 10,92% SiO_2
do.	do.	K_2CO_3-Lg	2 Std	Siede-Temp.	5% Lg löste 6,36% SiO_2, 10% Lg löste 6,96% SiO_2, 15% Lg löste 9,10% SiO_2

durchaus genügender Grund ist, um die Entstehung von mineralisierenden Lösungen durch Auslaugung der Gesteine, wie sie die Beobachtung der Vorkommnisse fordert, als experimentell bestätigt zu betrachten. Auch die Auswahl und die Reihenfolge der als „löslich" zu bezeichnenden Bestandteile stimmt mit dem Ergebnis der Naturbeobachtung im Ganzen gut überein. Zu bedeutend tieferer Einsicht in die Verhältnisse gelangt man aber auf dem Wege der sogenannten hydrothermalen Synthesen.

Als solche bezeichnet man das Studium „des Einflusses des Wassers auf die zu untersuchenden Komponenten bei Temperaturen über 100° bis zu Temperaturen über den entsprechenden kritischen Daten. Naturgemäß müssen solche Untersuchungen in geschlossenen Gefäßen [Glastuben, meist aber Stahlzylinder („Bomben"), erhitzt in Gas- oder elektrischen Öfen] vorgenommen werden, so daß jeweilen ein entsprechend hoher Druck herrscht."[47]) Diese Experimente stehen im Gegensatz zu den Schmelzflußuntersuchungen, die meist an trockenen Silikatschmelzen in offenen Gefäßen vorgenommen werden, und sich die Wiedergabe der Erscheinungen des Auskristallisierens der Mineralien aus magmatischen Lösungen zum Ziel setzt.

Der besondere Umstand, der den angewendeten Stoffgemengen ihre Eigenart als physikalisch-chemische Systeme aufdrückt, besteht darin, daß Silikate, welche bekanntlich zu den ganz wenig flüchtigen Substanzen gehören, mit Wasser, also einer verhältnismäßig sehr leichtflüchtigen Substanz, in Wechselwirkung treten; es werden dadurch gewisse Erscheinungen hervorgerufen, die in erheblichem Kontraste stehen zu denjenigen von Systemen mit Körpern, die unter sich ähnliche Flüchtigkeitsgrade aufweisen.

Bei den letzteren treten, insofern das Untersuchungsgebiet genügend weit von den betreffenden Siedepunkten entfernt ist, alle mit Verdampfung und kritischen Erscheinungen in Zusammenhang stehenden Phänomene überhaupt nicht ins Spiel. Bei relativ leichtflüchtigen Substanzen, die außerdem noch die Eigenschaft haben, ähnliche Flüchtigkeitsgrade zu besitzen, werden Schmelzkurve und Ver-

---

[47]) P. Niggli und George W. Morey, Die hydrothermale Silikatbildung. Ztschr. f. anorg. Chem. 83, 1913, p. 369. (Eine vollständige Bibliographie, neben theoretischen Erläuterungen.) Siehe auch P. Niggli, Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Preisschrift der F. Jablonowskischen Gesellschaft. Leipzig 1920.

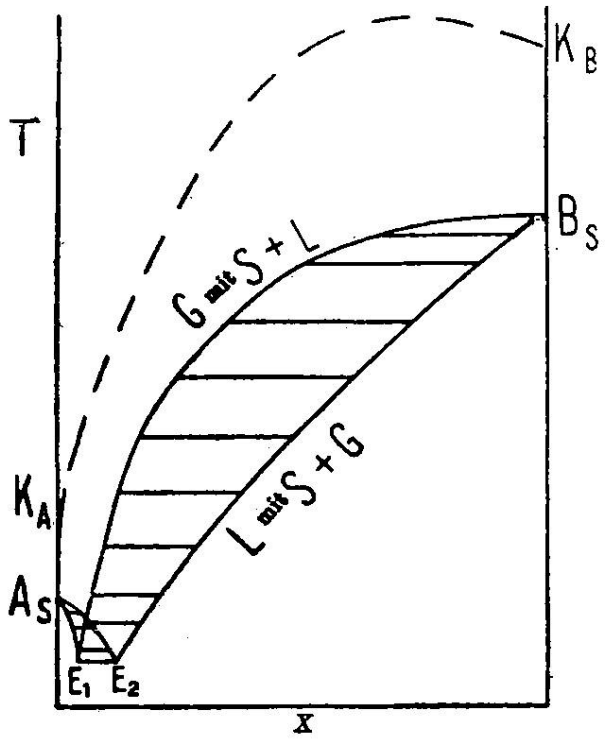
dampfungskurve, wie auch kritische Kurve auf demselben Zustandsdiagramm einzutragen sein; jedoch wird die relative Lage dieser zueinander so sein, daß die kritische Kurve von den anderen niemals geschnitten wird.

Figur 2 nach P. Niggli[48]) zeigt das T—X- (Temperatur- und Konzentrations-) Diagramm eines solchen Falles, wobei zu beachten ist, daß hier die Komponente A deutlich flüchtiger ist, als B, was aus der merklichen Verschiebung der G(as) Kurve gegen A hin, bezogen auf die L(ösungs)-Kurve, erhellt, indem jeder Punkt der ersteren Kurve der durch den auf gleicher horizontaler Linie liegenden Punkt der L-Kurve gegebenen Zusammensetzung der Schmelze entspricht. Die kritische Kurve liegt im ganzen Intervall oberhalb der anderen beiden und kommt für Lösungserscheinungen fest-flüssig nirgends in Betracht. Die kritische Kurve kann ein Maximum aufweisen entsprechend der Erscheinung, daß der kritische Punkt einer reinen Substanz durch Hinzufügen einer zweiten erhöht wird.

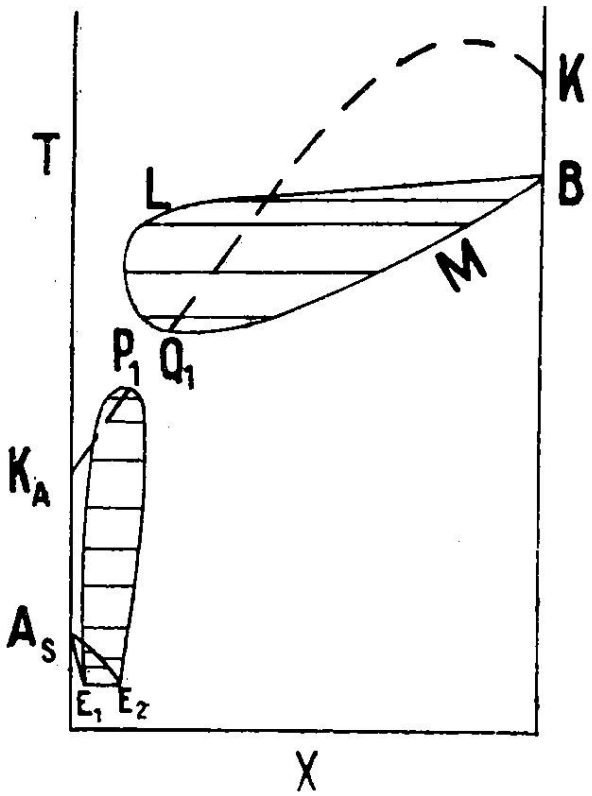
Liegt der Fall aber so, daß eine Komponente viel flüchtiger ist, als die andere, so kann die kritische Kurve in gewissen Teilen in das Gebiet der Kurven G und L fallen und diese schneiden; sie tut dies dann im allgemeinen zweimal. Die von unten aufsteigenden Kurven G und L laufen in P dem ersten Schnittpunkt zusammen, so daß hier zwischen Dampf und flüssiger Phase nicht mehr unterschieden werden kann, und ähnlich verhält es sich auch in dem zweiten Schnittpunkte Q, wo die von oben absteigenden Enden der Kurven G und L zusammenlaufen. Der Zustand, in dem Flüssige- und Gasphase identisch geworden sind, wird als „fluid" bezeichnet, und es geht ohne weiteres aus der Figur hervor, daß auf dem ganzen Gebiete zwischen P und Q nur fluide Zustände (mit oder ohne Fest) existieren können.

Die Verhältnisse, wie sie in Figur 2 wiedergegeben sind, unterscheiden sich prinzipiell in gar nichts von denjenigen einer gewöhnlichen Salzlösung in Wasser (etwa Kochsalz in Wasser) bei gewöhnlichen Temperaturen. Faktisch unterscheiden sie sich 1. dadurch, daß die Dampfkurve bei letzteren noch mehr gegen die Achse des leichtflüchtigen Bestandteiles (des Wassers) verschoben ist als in der Figur; 2. aber dadurch, daß bei letzteren alle Kurven viel weiter von der kritischen Kurve entfernt liegen als in der

[48]) Loc. cit., p. 375.



Figur 2 (nach P. Niggli.)



Figur 3 (nach P. Niggli).

Figur. Solange aber letztere nicht geschnitten wird, „bleibt der kritische Punkt der leichtflüchtigen Komponente auf die Löslichkeitsbeziehungen Fest-Flüssig oder Fest-Dampf absolut

einflußlos.“ [49]) Die experimentelle Untersuchung von Systemen des „P.Q“-Typus (Fig. 3) ergibt die Tatsache, daß sich die schwerflüchtige Komponente auch in der fluiden Phase gelöst vorfinden kann. „Eine Entmischung in Flüssigkeit und Dampf ist in diesem Gebiet wenigstens in stabiler Form unmöglich, die fluide Phase ist ebensogut eine Lösung wie die gewöhnlich wässerigen Lösungen in Koexistenz mit Dampf.“ [50]) Hat somit der kritische Punkt mit dem Lösungsphänomen als solchen und mit der Art des Bodenkörpers prinzipiell nichts zu tun, so gelangt man zu dem Schlusse, daß Systeme vom P.Q-Typus auch bei Temperaturen über der kritischen Temperatur des Wassers sich von wässerigen Salzlösungen bei normaler Temperatur in prinzipieller Weise nicht unterscheiden können. Daß natürlich die tatsächlich auftretenden Prozesse dank der erhöhten Zahl der Komponenten, wie auch durch die auftretenden Verbindungen wesentlich kompliziertere Diagramme liefern müssen als die zwei wiedergegebenen Figuren, bedarf kaum der Erwähnung.

Für die Beurteilung und das Verständnis hydrothermaler Synthesen war es ein bedeutsamer Fortschritt, als 1911 P. Niggli den Umstand erkannte, daß die sich bei solchen abspielenden Prozesse dem P.Q-Typus angehören, daß somit „in den gasförmigen Mineralisatoren [vornehmlich also Wasser] ... zumeist ganz erhebliche Mengen der schwerflüchtigen Mineralien gelöst sind, ...“ [51]) eine für die Minero- und Petrogenesis außerordentlich fruchtbare Schlußfolgerung. Unter anderem vermag diese Erkenntnis eine sonst schwer zu fassende Variabilität der Produkte bei gegebenem Edukt, sowie auch eine gewisse Schwierigkeit in der Reproduktion von Experimenten zu erklären. Das Verschwinden nämlich der einen (flüssigen) Phase zwischen P und Q muß phasentheoretisch die Variationsbreite der Kristallisationen, sowie ihre Empfindlichkeit auf äußere Verhältnisse wesentlich steigern, was ohne Berücksichtigung der kritischen Erscheinungen unmotiviert beliben müßte.

Eine weitere, für die Beurteilung hydrothermaler Silikatparagenesen überaus wichtige Schlußfolgerung ist die, daß insofern „mehrere schwerflüchtige Komponenten in Betracht gezogen werden, ... die stabilen Auskristallisationen, ge-

---

[50]) P. Niggli, loc. cit., p. 379.

[51]) P. Niggli, Die Gasmineralisatoren im Magma. Ztschr. f. anorg. Chemie 75, 1912, p. 171.

[49]) P. Niggli, loc. cit., p. 375.

nau wie bei den Van t'Hoff'schen Untersuchungen über ozeanische Salzablagerungen durch die relative Unlöslichkeit bestimmt sind.“ [52]) Dies entspricht aber genau den bereits im vorigen Abschnitte konstatierten Tatsachen der eindeutigen Sukzession der Kluftmineralien, so daß hier wiederum eine schöne Bestätigung der gewonnenen Auffassung über die Entstehungsart solcher Mineralien vorliegt. Leider ist man in der Praxis der hydrothermalen Synthese durch die zur Verfügung stehende verhältnismäßig sehr kurze Dauer der Experimente (mit entsprechenden sehr geringen Lösungsmengen) gezwungen, die Umwandlungen an einem an sich unstabil gewählten Bodenkörper, der während des Experimentes stabile Zustände zu erlangen strebt, zu studieren. Prinzipiell ändert sich dadurch freilich nichts; praktisch ergeben aber die oft unvollständig verlaufenden Reaktionen viele nur metastabile Endprodukte.

Die Zahl der hydrothermal dargestellten Mineralien ist beträchtlich, und beläuft sich in Silikatsystemen allein auf ca. 100 Verbindungen, unter welchen allerdings eine Reihe mit keinen natürlich auftretenden Mineralien identifiziert werden konnte. Von einem Teil der letzteren weiß man, daß es sich um metastabile Verbindungen handelt, und es mag diese Erscheinung dahin gedeutet werden, daß in der Natur im allgemeinen stabile Körper abgesetzt werden. Seit den ersten, 1845 von V. Schafhäutl angestellten Experimenten bis jetzt, wo namentlich E. Baur, J. Koenigsberger und W. Müller, M. Schlaepfer, G. W. Morey und P. Niggli sehr wichtige Beiträge geliefert haben, ist weitaus am öftesten die Darstellung von Quarz, Albit, Orthoklas, Analcim, sowie von Zeolithen gelungen. „Die Darstellung dieser Substanzen ist so oft reproduziert worden, daß wohl darüber kein Zweifel bestehen kann, daß sie in der Natur unter ähnlichen Bedingungen entstehen können.“ [53]) Diese Tatsache gewinnt aber besonders dadurch an Bedeutung, daß gerade die Alkalifeldspäte, sowie Zeolithe zweifellos die wichtigsten Silikate derr Kluftlagerstätten darstellen. Einige auf diese Mineralien bezugnehmende Daten sind im folgenden enthalten.[54])

---

[52]) Niggli und Morey, loc. cit., p. 383.
[53]) Niggli und Morey, loc. cit., p. 387.
[54]) Außer Niggli und Morey, loc. cit., siehe Ztschr. für Kristallographie, Bd. 56, p. 341, wo alle neuere Literatur und Resultate (speziell auch der genannten Autoren) vereinigt sind. Zusammen-

Kalifeldspat ist von 340° ± 20° aufwärts hydrothermal leicht darstellbar; dieser Fixpunkt wird durch die Gegenwart von freier Kohlensäure und von Natron-Kali-Ionen nicht wesentlich geändert; immerhin scheint viel Kohlensäure die Auskristallisation des Orthoklas aus den Lösungen zu hemmen; geringe Mengen wirken im umgekehrten Sinne. Vielleicht etwas höher gelegen ist die für Albit geltende untere Temperatur, indem dieser bis jetzt nur oberhalb von 430° erhalten wurde. Es ist interessant, zu konstatieren, daß bei diesen Temperaturen die Feldspatmoleküle sowohl gegeneinander wie auch gegen fremde Moleküle kaum Mischbarkeit aufweisen. So ist Anorthoklas im allgemeinen kein aus solchen Synthesen resultierendes Produkt, ebensowenig sind es eisenhaltige Feldspäte. Neben den Feldspatmolekülen treten sowohl Nephelin wie Leucit auf. Die unteren Temperaturen werden bei 330° bezw. 260° angegeben. Ihr Auftreten ist stets im Bodenkörper, nie aber als spezifische Ausscheidung der flüssigen Phase beobachtet worden, was unstabiles Verhalten bei diesen verhältnismäßig tiefen Temperaturen wahrscheinlich macht. Über 360° tritt Leucit zugunsten von Kalinephelin zurück. Sowohl Nephelin wie Leucit werden von überschüssiger freier Kohlensäure stark zurückgedrängt. Alle diese Umstände deuten darauf hin, daß unter den vermutlich stabilen Alkalialumosilikaten bei Temperaturen von 340° und darüber die Feldspäte entschieden die wichtigsten Mineralien darstellen.

Entsprechend der Abneigung zur Mischbarkeit der Alkali-Moleküle gelingt es auch nicht, in entsprechend calciumhaltigen Systemen Plagioklase darzustellen. Labrador wurde im Gegenteil zersetzt unter Neubildung von Zeolith, Orthoklas, Calcit, Pektolith und Leucit in Mengenverhältnissen, die je nach der Temperatur wechselten.

Alle diese Resultate entsprechen offenbar sehr weitgehend den Naturbeobachtungen.

Bei tieferen Temperaturen sind vor allem Zeolithe gefunden worden. Ihr Gebiet scheint bis zu 90° hinunter zu reichen, wenn schon ihre recht eigentlichen Temperaturen von 100° bis ca. 200° sich erstrecken dürften. Oberhalb von 300° sind nur selten Zeolithe erhalten worden, immerhin

---

fassende Daten auch in Doelters Handbuch der Mineralchemie (z. B. E. Baur, Bd. II 2, p. 556) und in Boeke-Eitel, Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Berlin 1923.

werden vereinzelte Bildungen bis 400° und sogar bis 450° angegeben. Analcim ist eine normale Bildung auch gegen die oberen Temperaturgrenzen. Freie Kohlensäure scheint der Zeolithbildung nicht günstig zu sein, ohne daß aber die Entstehung dadurch ganz verhindert würde; hingegen scheint CaO sehr fördernd zu wirken, und wird der Lösung entzogen, um in die Zeolithmoleküle aufgenommen zu werden. Chemisch sind die dargestellten Zeolithe sehr mannigfaltig, und viele unter ihnen sind in der Natur unbekannt. Es scheint, daß ein Zeolith gegebener Zusammensetzung nur erhalten werden kann, wenn die Lösung eine ganz ähnliche Zusammensetzung aufweist. Das läßt sich aber leicht mit dem konstatierten späten Ausscheidungsstadium der Zeolithe parallelisieren, indem man sich vorstellen muß, daß nachdem die Lösung (von ursprünglich komplizierterer Zusammensetzung) durch Ausscheidung verschiedener Mineralien die ungefähre Zeolithzusammensetzung erreicht hat, wobei die Temperatur noch wesentlich gefallen sein wird, die Ausscheidung dieser Mineralien einsetzt. Die engbegrenzten Konzentrationsfelder, die auch den einzelnen Gliedern zukommen, hat ihr Gegenstück in der ausgezeichnet klaren Sukzession dieser Mineralien in der Natur.

Zu den schönsten Erzeugnissen der hydrothermalen Synthese gehört der Quarz, der verschiedentlich in zweispitzig ausgebildeten Kristallen erhalten worden ist. Daß er ein sehr umfangreiches Bildungsintervall hat, beweisen schon die sehr verschiedenartigen Vorkommnisse in der Natur; über sein Auftreten unter den vorliegenden experimentellen Bedingungen ist zu verzeichnen, daß auch hier Temperatur scheinbar kein sehr wesentlicher Faktor ist, daß hingegen die chemische Zusammensetzung der Lösung die Kristallisation stark beeinflußt. So scheinen Alkalisilikatlösungen vor allem günstig zu sein, die Gegenwart von Tonerde dagegen ungünstig, indem Quarz-Ausscheidung nur bei starkem Überschuß von SiO_2 über Al_2O_3 stattfindet. Die Anwesenheit von viel Säureionen verbessert ebenfalls die Bildungsmöglichkeiten; doch kommt es auch vor, daß dann Tridymit an Stelle von Quarz tritt (Anwesenheit von etwas F). Seine Stellung zu den oben bereits erwähnten Bestandteilen ist augenscheinlich so, daß bei Gegenwart von viel Kohlensäure bei ca. 300° Quarz allein stabil ist, unterhalb erscheinen die wasserhaltigen Tonerdesilikate (Zeolithe); bei 360° und darüber sind mit und ohne freies CO_2 die wasserfreien Silikate

(Feldspäte) zu finden. Der Reihenfolge Quarz → Feldspäte → Quarz → Zeolithe entspricht in großen Zügen wenigstens die bereits in den letzten Abschnitten erwähnte.

Ohne an dieser Stelle auf weitere Einzelheiten einzugehen, mag noch erwähnt werden, daß die in silikatischen Systemen erhaltenen Nicht-Silikate ebenfalls in mancher Hinsicht in den Rahmen der Kluftlagerstätten hineinpassen. Calcit (dessen Bildung engstens mit der Zeolithbildung zusammenzuhängen scheint, dies sowohl wegen dem CaO-, wie wegen dem CO_2-Gehalt, nähere Bedingungen aber noch zweifelhaft), Hämatit, Ilmenit, Magnetit sind Beispiele, und zeigen, daß die experimentelle Untersuchung der Verhältnisse auf dem besten Wege ist, Licht in die Naturvorgänge zu werfen. Zu den sehr wichtigen, noch ungelösten Fragen gehören die Bildungsbedingungen von Sericit, Epidot und Zoisit.

Zum Schlusse dieses Abschnittes mögen noch einige Daten zusammengestellt werden, die für die Schätzung der Temperaturverhältnisse bei dem Prozeß der Auskristallisation in den Klüften verwertbar sind. Bei der Kompliziertheit der Systeme und der noch sehr unvollständigen Forschungsergebnisse muß von vornherein darauf verzichtet werden, für jedes Mineral ein genaues Temperaturintervall angeben zu wollen; vielmehr wird es sich darum handeln, die etwaigen oberen und unteren Grenztemperaturen des ganzen Vorganges festzulegen, wobei dann das relative Alter der Mineralien (siehe die Schemata No. 1—3) ihre ungefähren Bildungstemperaturen sozusagen durch Interpolation abzuschätzen erlauben werden.

Obere Temperatur. Es ist bereits erwähnt worden, daß als älteste Bildungen Quarz (z. T. mit Epidot- und Hornblende-Einschlüssen) und Adular zu bezeichnen sind. Ein Großteil des Quarzes ist später als Adular, ein Teil aber früher als dieser auskristallisiert. Die Feststellung der oberen Temperatur kann also an diesen zwei Mineralien erfolgen.

Vom Adular ist vorläufig die untere Bildungstemperatur als verhältnismäßig gut bestimmt zu betrachten. Sie beträgt, wie bereits erwähnt, $340^\circ \pm 20^\circ$. Sicherlich war also der Anfang der Kristallisation höher als ca. 360°, wobei eine obere Temperatur für den Adular sich nicht angeben läßt.

Der Quarz der Alpen, der jetzt natürlich durchwegs als β-Quarz[55]) zu bezeichnen ist, ist allem Anschein nach auch als β-Quarz entstanden. Dafür sprechen z. B. folgende Beobachtungen. Bereits die kursorische Betrachtung deutet auf trigonale Symmetrie hin, so z. B. die oft sehr ausgesprochen ungleiche Ausbildung der Rhomboederflächen, ferner das charakteristische Erscheinen des trigonalen Trapezoeders (x-Flächen). Demgegenüber wäre ein Vorwalten von Quarzen mit hexagonalem Habitus zu erwarten, wenn ursprüngliche α-Quarze vorliegen würden. Aber auch die nähere Untersuchung bestätigt diese Auffassung, wie schon aus den Beobachtungen O. Müggeß[56]) an Quarzen vom Tavetsch hervorgeht. Dieser zeigte, daß „die Zwillingsgrenzen niemals an die Kanten der Trapez- und Parallelogrammflächen (außer allenfalls an deren Endpunkten) herantreten oder erstere gar überqueren; vielmehr gehört jede solche Trapez- oder Parallelogrammfläche stets nur der einen oder der anderen der beiden Zwillingsindividuen an. Das wäre offenbar nicht zu erwarten, wenn die Zwillingsbildung erst bei der Umwandlung α—β[57]) vor sich gegangen wäre. Der Verlauf der Grenze würde dann von den genannten Flächen nicht so abhängen.“

Damit scheint der Ausscheidung eine obere Temperatur gesetzt zu sein, und es mag das Richtige einigermaßen treffen, wenn gesagt wird, daß die frühesten Bildungen in einem Temperaturgebiet von 500°—350° entstanden. Gegen Ende der Adularbildung hat vielfach sehr starker Absatz anderer Mineralien eingesetzt, so daß jedenfalls ein sehr erheblicher Teil der Bildungen erst von 350° abwärts eingeordnet werden muß. Zwei weitere Erscheinungen am Quarz sind ebenfalls dahin gedeutet worden, daß die Ausscheidung auch des Quarzes dieser tiefer gelegenen Temperatur zukommt.

1. Beobachtungen am Rauchquarz[58]) zeigen, daß die dunkle Farbe durch Erhitzen auf 270° nicht verschwindet, dagegen bei 280° bereits eine Veränderung zeigt, bei 295°

---

[55]) Unter α-Modifikation sei stets die bei höchster Temperatur beständige gekennzeichnet, die β-Modifikation des Quarzes ist die bei gewöhnlicher Temperatur stabile.

[56]) „Über Quarz als geologisches Thermometer“. Centralblatt für Min. 1921, p. 611.

[57]) Siehe Fußnote No. 55.

[58]) J. Koenigsberger, „Über die färbende Substanz im Rauchquarz“. Tschermaks M. u. P. Mitt. XIX, 1900, p. 148.

nach 6—7stündigem Erhitzen verschwindet, über 300° aber rasch beseitigt wird. Auch unter dem Druck überhitzten Wassers kann Entfärbung leicht herbeigeführt werden. Demnach wäre anzunehmen, daß der Rauchquarz bei ca. 300° oder darunter entstanden wäre, wobei allerdings R. Brauns sehr richtig betont,[59]) daß die Kristalle sehr wohl ihre Farbe „erst später und bei niederer Temperatur [als ihre Entstehungstemperatur] erhalten haben können.“ Als färbendes Agens kommen vor allem die γ-Strahlen radioaktiv wirkender Substanzen in Betracht, von denen bekannt ist, daß sie die Braunfärbung herbeizurufen im Stande sind. Nebenbei sei noch bemerkt, daß die Braunfärbung, die für sehr viele Schweizerquarze typisch ist, von der Höhe über Meer abhängig ist. Die Quarze sind bis 1400 m farblos, bei ca. 1500 m ist eine Farbe bemerkbar, bei 1800 m deutlich braun, bei 2300 m eigentlicher Rauchquarz, bei 2900 m tief dunkler Morion.[60]) Dies wäre nach J. Koenigsberger das Ergebnis der Wechselwirkung der färbenden Wirkung radioaktiver Substanzen im Gestein und der entfärbenden Wirkung der Temperatur (mittlere Jahrestemperatur).[61])

2. Beobachtungen an den Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen im Quarz. Diese sind verbreitet und stellenweise auch außerordentlich häufig. Die Analyse ergab J. Koenigsberger folgende Zusammensetzung:

H_2O	85 %	Ca	0,3 %
CO_2	5 %	CO_3	3,5 %
Na	2,5 %	Cl	1,5 %
KLi	1,5 %	SO_4	0,7 %

„Die Libellen der Flüssigkeit verschwinden bei 200°—230°; oberhalb dieser Temperatur ist der ganze Hohlraum mit Wasser ausgefüllt und sprengt bei höherem Erhitzen den Kristall.“ [62]) Da die sämtlichen Libellen an einem gegebenen Quarzstück innerhalb eines sehr geringen Temperaturintervalles gleichzeitig verschwinden, da ferner die Libellen beim Erhitzen stetig an Größe abnehmen und die Flüssigkeit als solche bestehen bleibt, ist anzunehmen, daß „der gesamte

---

[59]) Centralblatt f. Min. 1909, p. 726.

[60]) J. Koenigsberger, Die Minerallagerstätten im Biotitprotogin des Aarmassivs, loc. cit., p. 114.

[61]) Derselbe, Über alpine Mineralparagenesen, loc. cit. III, p. 14.

[62]) J. Koenigsberger und W. J. Müller, Versuche über die Bildung von Quarz und Silikaten. Centralbl. f. Min. 1906, p. 342.

Einschluß ein homogener Teil der flüssigen Phase war [der Lösung, aus der der Quarz auskristallisierte] und das Verhalten von Libelle zu Flüssigkeit bei diesen Quarzen ein konstantes und kein zufälliges ist.“ [63]) Die obere Temperatur würde somit der Entstehungstemperatur des Quarzes entsprechen. (Siehe freilich aber auch die Einwände R. Nackens gegen Temperaturbestimmungen dieser Art: Centralblatt für Min. 1921, p. 35 ff.)

Untere Temperatur. Die Grenzen der unteren Temperatur scheinen vor allem durch die Zeolithe gegeben zu sein, da diese, wo sie auftreten, stets letzte Ausscheidungen sind. Ihr typisches Intervall ist als etwa 100°—200° angegeben worden. Weitere Umstände deuten darauf, daß in der Tat Temperaturen von ca. 200° und darunter als die wahrscheinlichsten für die Bildung in den Kluftlagerstätten anzusehen sind. Man macht die Beobachtung, daß das Einsetzen der Zeolithbildung ungefähr mit dem Schlußstadium der Calcit-, Hämatit- und Fluorit-Kristallisation zusammenfällt. Von letzterem weiß man, daß die ihm in den Alpen häufig zukommende Rotfärbung bei 175° verschwindet (unabhängig von Druck und Medium), weshalb seine Kristallisation unterhalb dieser Temperatur anzusetzen ist. Andrerseits scheint auch aus den Experimenten von Bruhns, Friedel und Niggli hervorzugehen, daß das Ausscheidungsintervall des anhydren Hämatites ebenfalls um 200° anzusetzen ist, was also wiederum diese Temperatur belegen würde. Daß die untere Grenze von ca. 100° von den Zeolithen im allgemeinen nicht erreicht wird, scheint aus der Tatsache hervorzugehen, daß bei so tiefer Temperatur das Muttergestein bereits anfangen müßte, durchlässig zu werden. Somit scheint es wahrscheinlich, daß die Zeolithbildung, und damit die Ausscheidungen überhaupt, etwas höher ihr Ende nehmen, schätzungsweise um 130°.

Man gelangt also zum Schlusse, daß ca. 500° bis 130° als die wahrscheinlichsten Temperaturgrenzen für die Kristallisationsvorgänge in den Kluftlagerstätten anzusprechen sind. Dabei wird ein Großteil der Bildungen bedeutend unter der Höchst-Temperatur stattgefunden haben. Man darf vielleicht für diese

[63]) Dieselben, Über Flüssigkeitseinschlüsse im Quarz. Ebendaselbst, p. 75.

Hauptkristallisationsperiode 350° als obere Grenze ansehen.

Schlußwort. Mehr als eine ganz allgemein gehaltene Darstellung der Mineralogie der Kluftlagerstätten hätte den Umfang des vorliegenden Referates ungebührlich vermehrt. Darf auch gehofft werden, daß einige der großen Zusammenhänge aus dieser summarischen Betrachtungsweise hervorgegangen sein werden, so ist andrerseits klar, daß die vielen Einzeluntersuchungen, mit ihren spezielleren Ergebnissen aller Art, in keiner Weise zu Wort gekommen sind. Dies nachzuholen, also gewissermaßen zum allgemeinen Teil einen speziellen noch hinzuzufügen und somit recht eigentlich in die Materie einzudringen, muß einem späteren Referat überlassen werden.